

**Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2013

Michal Šenkýř

# **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Navazující studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

## **Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců**

**Anti-adhesive properties Survey of process liquids from the world's best suppliers**

**KOM - 1233**

***Michal Šenkýř***

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey POPOV, DrSc. – TUL

Konzultant: Ing. Andrey Dugin – TUL

Počet stran: 61

Počet příloh: 2

Počet obrázků: 41

Počet grafů: 4

**Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců.**

*ANOTACE:*

Diplomová práce se zabývá poznatky o trvanlivosti nástroje, klasifikuje procesní kapaliny při obrábění, zkoumá vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin. Tato práce předkládá návrh metodiky zkoumání antiadhezních vlastností procesních kapalin v laboratoři KOM FS TUL. Zabývá se rovněž zjištěním vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnost procesní kapaliny a zjištěním antiadhezních vlastností jednotlivých procesních kapalin v laboratoři KOM FS TUL.

Klíčová slova: PROCESNÍ KAPALINA, ANTIADHEZNÍ VLASTNOST, TRVANLIVOST NÁSTROJE

**Anti-adhesive properties Survey of process liquids from the world's best suppliers.**

*ANNOTATION:*

The diploma thesis deals with findings of the tool durability, it classifies process liquids by machining and examines properties and characteristics of process liquids. This diploma thesis presents a proposal for the method of anti-adhesive properties examination for process liquids in the laboratory KOM FS TUL. It also deals with finding of machining parameters influence on anti-adhesive properties of process liquids and finding of anti-adhesive properties of each single process liquid in the laboratory KOM FS TUL.

Keywords: PROCESS LIQUIDS, ANTI-ADHESIVE PROPERTIE, TOOL LIFE

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2013

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 61

Počet příloh: 2

Počet obrázků: 41

Počet grafů: 4

## ***MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ***

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom po-vinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 22. 5. 2013

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za pomoc, odborné vedení, připomínky, ochotné poskytování rad a materiálových podkladů.

Dále bych rád poděkoval konzultantovi diplomové práce panu Ing. Andreyi Duginovi za neocenitelné rady, pomoc a čas, který mi při této práci věnoval. Poděkování patří i Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratoři měření a dále dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže za poskytovanou pomoc.

Ve význačné míře bych chtěl poděkovat rodině, přítelkyni a všem lidem, kteří mě po celou dobu studia trpělivě podporovali.

Michal Šenkýř

22. 5. 2013

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
Úvod.....	10
I. Teoretická část .....	11
1. Trvanlivost bříty nástroje .....	11
2. Opotřebení řezných nástrojů .....	13
2.1. Typy opotřebení .....	13
2.2. Délkové charakteristiky opotřebení .....	18
2.3. Základní mechanismy opotřebení .....	19
3. PROCESNÍ KAPALINY .....	20
3.1. Technologické požadavky na procesní kapaliny .....	21
3.2. Rozdělení procesních kapalin .....	24
3.3. Životnost procesní kapaliny .....	27
3.4. Negativa používání procesních médií (kapalin) .....	28
3.5. Náklady na aplikaci procesních kapalin .....	28
3.6. Metoda minimálního množství procesní kapaliny .....	29
4. Metody strojních zkoušek .....	30
4.1. Metody měření .....	30
4.2. Přístroje simulující reálný třecí kontakt .....	31
5. Cíl práce .....	34
II. Experimentální část řešení .....	34
6. Charakteristika strojů, přístrojů, měřícího zařízení a použitých PK .....	34
6.1. Místo měření .....	34
6.2. Použitý stroj .....	34
6.3. Chladicí soustava .....	36
6.4. Nástroj .....	36
6.5. VBD .....	37
6.6. Zkušební vzorek .....	38

7.	Použité měřicí přístroje .....	39
7.1.	Mikroskop Arsenal SZP 3112–T .....	39
7.2.	Refraktometr .....	39
7.3.	Draft Sight .....	40
8.	Použité procesní kapaliny .....	41
8.1.	Blasocut BC 35 Kombi .....	41
8.2.	Grindex 10 .....	42
8.3.	Vasco 1000 .....	42
8.4.	Paramo Eops 1030 .....	43
8.5.	Hocut 795 B .....	44
8.6.	Cimstar 620 .....	45
9.	Průběh praktické části experimentu .....	46
9.1.	Příprava procesní kapaliny .....	46
9.2.	Příprava zkušebních vzorků .....	48
9.3.	Nastavení řezných podmínek .....	49
10.	Samotný průběh celého experimentu .....	49
10.1.	Způsob zjištění antiadhezních vlastností .....	51
11.	Zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny .....	53
11.1.	Zjištění vlivu řezné rychlosti na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny .....	53
11.2.	Zjištění vlivu délky vzorku na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny .....	54
11.3.	Zjištění vlivu materiálu VBD na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny .....	55
11.4.	Porovnání antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců .....	56
12.	Závěr .....	57
	Seznam literatury .....	59
	Seznam příloh .....	61

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
$C_T$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
$C_V$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
$T$	[min]	trvanlivost břítu
$v_c$	[m/min]	řezná rychlost
$m_T$	[-]	exponent Taylorova vztahu
$KB$	[mm]	šířka žlábků na čele
$KL$	[mm]	vzdálenost od ostří k okraji žlábků
$KM$	[mm]	vzdálenost od ostří ke středu žlábků
$KT$	[mm]	hloubka žlábků na čele
$VB$	[mm]	velikost opotřebení na hřbetu
$VR$	[mm]	radiální otupení
$h$	[mm]	výška obráběného vzorku
$b$	[mm]	šířka obráběného vzorku
$l$	[mm]	délka obráběného vzorku
$a_p$	[mm]	hloubka záběru
$r_i$	[-]	refrakční faktor (hodnota refraktometru)
$\gamma_o$	[°]	úhel čela
$\lambda_s$	[°]	úhel sklonu ostří
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	průměrná plocha opotřebení
TUL		Technická univerzita v Liberci
KOM		Katedra obrábění a montáže
PK		Procesní kapalina
VBD		Vyměnitelná břitová destička
ČSN		Česká státní norma



## Úvod

Obrábění kovů je ve strojírenství jednou z nejdůležitějších technologií výroby součástí. Hlavním úsilím při využití této technologie je zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů a dosažení co nejlepší rozměrové přesnosti a povrchu obráběné součásti. Rolí v tomto problému hraje jak volba řezného materiálu a úprava řezných podmínek, tak změna prostředí obráběcího procesu za použití procesní kapaliny. [1]

Již na počátku 20. století se začalo s používáním procesních kapalin. Nejprve se využívaly jen velmi jednoduché typy vodných a olejových emulzí. Používání i těchto velmi jednoduchých procesních kapalin mělo výrazný vliv na průběh řezného procesu a díky nim se zároveň velmi snížily ekonomické náklady ve výrobě. Zejména díky zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů. Samozřejmě se také zlepšil odvod tepla z místa řezu a snížilo se tření. Všechny tyto pozitivní dopady na průběh řezného procesu způsobily, že se používání procesních kapalin velmi rychle rozšířilo do většiny oblastí třískového obrábění. [1]

Z dostupných informací bylo zjištěno, že náklady na aplikaci procesních kapalin na transferových obráběcích linkách se často pohybují mezi 7 a dokonce až 17 % výrobních nákladů vztažených na jeden obrobek. To je podstatně více, než se dříve předpokládalo a než činí průměrné náklady, např. na řezné nástroje, tj. 2 až 4 %. [1]

V posledních letech je proto snaha o snížení nákladů vydaných na procesní kapaliny a jejich nahrazení obráběním zasucha. Nejnovějším trendem je pak použití metody MQL, tj. metody minimálního množství procesní kapaliny. [1]

V průmyslu existuje řada metod zjištění dílčích vlastností PK, např. Timkenload tester, Fourball tester, Reichert tester. Žádná z těchto metod nemůže zjistit antiadhezní vlastnosti PK.

Cílem této diplomové práce bylo navržení nové metody zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin. Byly porovnány a navrženy optimální parametry při experimentech. Jednalo se o řeznou rychlost, délku obrobku a materiál VBD. Byly odzkoušeny a porovnány antiadhezní vlastnosti procesních kapalin od nejlepších světových výrobců.

# I. Teoretická část

## 1. Trvanlivost břitu nástroje

Každý břit nástroje podléhá určitému opotřebení. To jej provází po celou jeho dobu trvanlivosti. Nástroj odebírá třísku a dává obrobku tvar po dobu své trvanlivosti. Ta byla dříve stanovena jedním parametrem, který určil, že nástroj již není schopen dále obrábět. Dnes konec trvanlivosti nástroje znamená, že nástroj již není schopen plnit stanovené úkoly. Kritéria ohledně trvanlivosti mohou být rozdílná vzhledem ke konečným požadavkům na obráběný materiál. [3]

Proto sledujeme i jiné parametry jako:

- stav povrchu obrobku,
- přesnost rozměrů,
- způsob opotřebení břitu nástroje,
- způsob utváření třísky,
- stanovenou dobu trvanlivosti.

O trvanlivosti nástroje obecně rozhodují řezné podmínky. Závislost trvanlivosti na řezných podmínkách popisuje Taylorův vztah: [2]

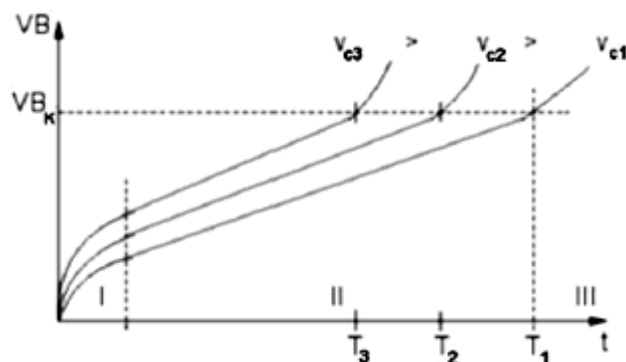
$$T = \frac{C_T}{v_c^{m_T}} \quad [\text{min}] \quad \text{nebo vztahem} \quad v_c = \frac{C_V}{T^{\frac{1}{m_T}}} \quad [\text{min}]$$

CT = konstanta (Závislá na materiálu nástroje, druhu obráběného materiálu a rozměrech třísky.)

m = exponent (Udává sklon přímky v logaritmických souřadnicích. Je to hodnota, která vypovídá o souvislosti změny řezné rychlosti s trvanlivostí.)

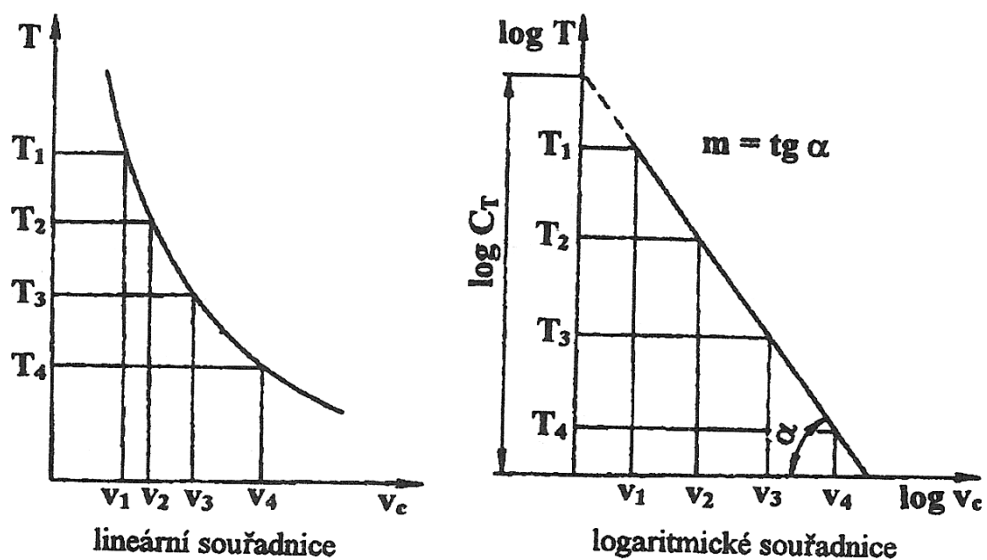
vc = řezná rychlost

Stanovení trvanlivosti břitu  $T$  pro kritické opotřebení hřbetu  $VB_k$  se provede při zvolených řezných rychlostech  $v_c$  (obr.12), kde  $T_1 > T_2 > T_3$  a  $v_{c1} > v_{c2} > v_{c3}$ . [2]



Obr. 1 Stanovení trvanlivosti břitu  $T$  [4]

Průběh závislosti znázorněný v lineárních a logaritmických souřadnicích. (obr. 13)



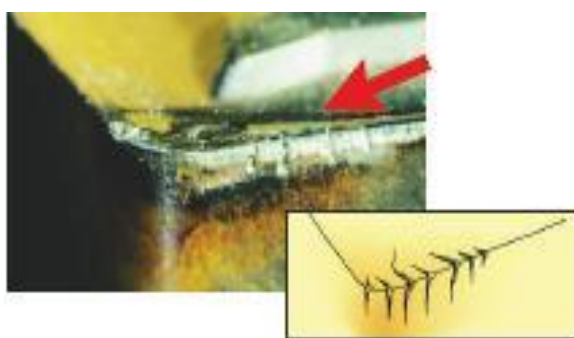
Obr. 2 Průběh závislosti  $T$  [2]

## 2. Opotřebení řezných nástrojů

Při obrábění vzniká četné množství tepla, které se tvoří na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelná zatížení značně namáhají břit a v některých případech, jako například u frézování, vytváří dynamický faktor v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a jiný do něj naopak vniká. Procesem utváření třísky, provázeném vysokým tlakem a teplotou, se průběžně tvoří čistý kovový povrch, na kterém má obráběný materiál náklonnost k chemickým reakcím nebo difuzním procesům. Veškeré obráběné materiály obsahují tvrdé částice různého typu, které se svou tvrdostí moc neliší od materiálu břitu. Tyto částice působí jako brousící případně abrazivní efekt vůči nástroji. [5, 6]

### 2.1. Typy opotřebení

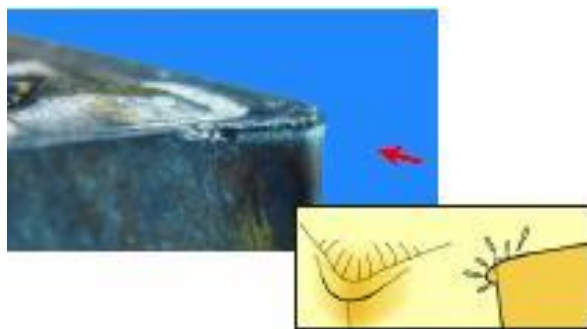
**Tepelné trhliny** (obr. 3) - vznik tepelných trhlinek na ostří je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelným šokem. K tomuto opotřebení vede zejména změna teplot při frézování. Trhlinky se tvoří kolmo na ostří. Zároveň se mohou částice řezného materiálu mezi jednotlivými trhlinkami vylamovat a způsobit tak náhlý lom břitu. Při obrábění se změnou tloušťky třísky mění rovněž teploty. Použití chladicích kapalin se nedoporučuje, prt. zvyšuje rozdíl teplot při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj. [5,6]



Obr. 3 Tepelné trhliny [15]

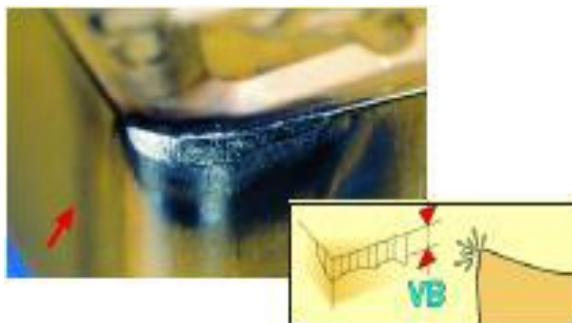
**Plastická deformace** (obr. 4) - počíná působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. U řezného materiálu nástroje, který těmto zatížením odolává a plasticky se nedeformuje, je tvrdost za tepla rozhodujícím

faktorem. Typická deformace břitu, tj. vyboulení, ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu, změny v odchodu třísek a může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze zmenšit použitím vhodného řezného materiálu s vyšší otěruvzdorností, správným zaoblením ostří a volbou správné geometrie. [5,6]



Obr. 4 Plastická deformace [15]

**Opotřebení hřbetu** (obr. 5) – patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše břitu. Plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky a na čelní fasetce jsou před utvářením, během utváření a po utváření třísky zvláště vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Stejnoměrně se zvětšující opotřebení hřbetu je často pokládáno za ideální. Příliš velké opotřebení hřbetu má za efekt zhoršení jakosti obrobené plochy, nepřesnost rozměrů a zvýšení tření, které počíná změnou geometrie břitu. [5,6]



Obr. 5 Opotřebení hřbetu [15]

**Lom břitu** (obr. 6) - představuje konec funkčnosti řezného elementu. Totální lom je mnohdy velmi nebezpečný a mělo by se mu za každých situací zabránit. Lom břitu nástroje je nezbytné v každém případě pokládat za konec trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést k hojným škodám. Křehký lom může být způsoben různými činiteli. Velmi často je vybraný materiál břitu málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout veškeré požadavky na obrábění. [5,6]



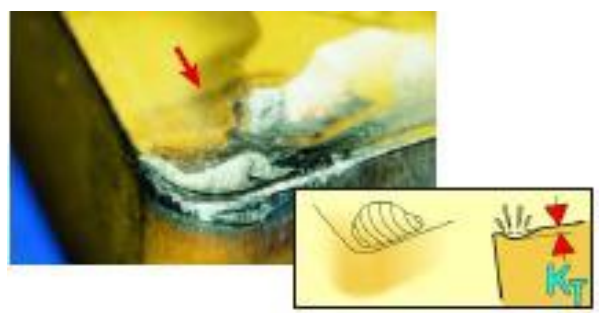
Obr. 6 Lom břitu [15]

**Vydrolení ostří** (obr. 7) - je formou opotřebení, při níž se břit místo stejnosměrného opotřebení vydroluje. Toto opotřebení je zapříčiněno špičkami zatížení a je důsledkem toho, že se drobné částice řezného nástrojového materiálu začnou oddělovat z povrchu břitu. Nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení je obrábění přerušovaným řezem. Důkladné pozorování břitu ukáže, kde je pravděpodobné očekávat vydrolování. Odlupování materiálu a trhliny jsou známky, které upozorňují na pravděpodobnost lomu břitu. Dalšími činiteli způsobující tento druh opotřebení může být nevhodný výběr řezného materiálu nebo ostří. [5,6]



Obr. 7 Vydrolení ostří [15]

**Opotřebení ve tvaru žlábků** (obr. 8) - je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek počíná částečně úběrem řezného materiálu nástroje vyvolaného brousicím pochodem. Ten počíná nejen působením tvrdých částic obsažených v materiálu, ale především difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tj. v dotykovém místě uprostřed třísky a materiálu břitu. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a břitu nástroje omezují sklon k začátku takového opotřebení. Mimořádně velké opotřebení ve formě žlábků může upravit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, upravit směr působení síly řezání a oslabit břit. [5,6]



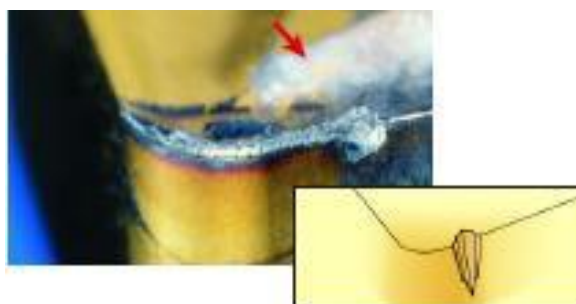
Obr. 8 Opotřebení ve tvaru žlábků [15]

**Tvorba nárůstků na břitu** (obr. 9) - je v převážné většině případů fenoménem, který se vztahuje k teplotám a řezným rychlostem. Může však být vyvolána i odlupováním vrstev v místě břitu nebo jinými druhy opotřebení. Mimo přeměny geometrie břitu účinkuje tento druh opotřebení negativně, protože se částice materiálu mohou odlomit. Afinita břitu k materiálu hraje v tomto případě důležitou roli. Efekt svařování, je to vyvolán nízkými teploty a vysokými tlaky a to mezi čelem nástroje a materiálem třísky. Početná část novodobých způsobů obrábění je uskutečňovaná nad oblastí tvorby nárůstků a mnohé novodobé řezné materiály nemají při vhodném použití k této formě opotřebení sklony. Prvním nepříznivým následkem vytvoření nárůstku je zhoršená jakost obrobeného povrchu. Nadbytečné vytváření nárůstků může mnohdy vést až k lomu břitu. [5,6]



*Obr. 9 Tvorba nárůstků na břitu [15]*

**Opotřebení ve tvaru vrubu** (obr. 10) - na hřbetě břitu patří k typickým adhezním opotřebením. Může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby se vytváří v místě dotyku břitu s bokem třísky. Toto opotřebení se redukuje přesně na místo, kudy vstupuje vzduch do oblasti obrábění. Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetu břitu má mechanické příčiny. Jejich původcem jsou tvrdé částice materiálu obrobku. Mimořádně velké opotřebení ve tvaru vrubu působí na utváření třísky a může dojít k lomu destičky. [5,6]



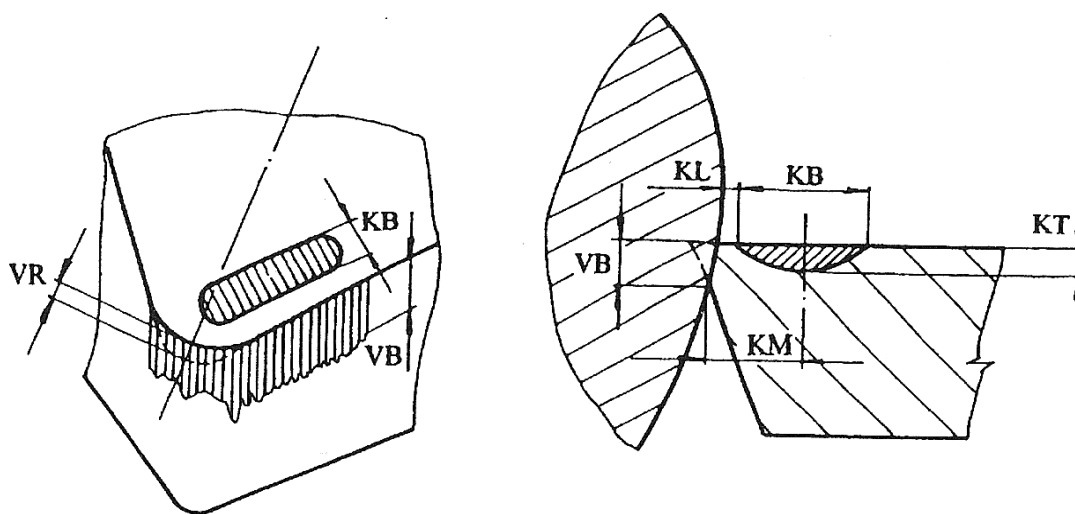
*Obr. 10 Opotřebení ve tvaru vrubu [15]*



## 2.2. Délkové charakteristiky opotřebení

Otupení břitu obráběcího nástroje lze také určovat následujícími délkovými charakteristikami (obr. 11) [7]:

- hloubkou žlábků na čele KT
- šířkou opotřeбенé plochy na hřbetu VB
- šířkou žlábků na čele KB
- vzdáleností od ostří ke středu žlábků KM
- vzdáleností od ostří k okraji žlábků KL
- radiálním otupením VR
- objemem nebo hmotností opotřebovaného materiálu břitu.



Obr. 11 Délkové charakteristiky otupení břitu [7]

## 2.3. Základní mechanismy opotřebení

**Abrazivní otěr** vzniká tehdy, je-li materiál obrobku výrazně tvrdý vzhledem k nástroji, případně dostanou-li se mezi materiály obrobku a nástroje cizí tvrdé částice. [3]

Princip abrazivního opotřebení je v zásadě shodný s principem obrábění či broušení materiálu. Jedná se o nejrozšířenější mechanismus opotřebení. Je zodpovědný za 80 až 90 % veškerého opotřebení. [3]

V závislosti na geometrii nerovností povrchu a tvaru abrazivních částic dochází při vzájemném pohybu k plastické deformaci (ploughing) či odřezávání (cutting) měkčího povrchu. [3]

**Difuzní otěr** jedná se o chemický vliv na nástroj, který určuje chemické složení rezného nástroje a materiálu obrobku. Jedná se o schopnost vzájemného slučování materiálů, kdy dochází k výměně atomů v obou směrech. Ta probíhá při teplotách na stykových místech břitu, kdy prvek obou materiálů dosáhne disociační teploty 680 až 1200 °C. Z toho je patrné, že difuzní otěr se může objevit jen při obrábění nástrojem z diamantů, SK nebo keramických materiálů. [8]

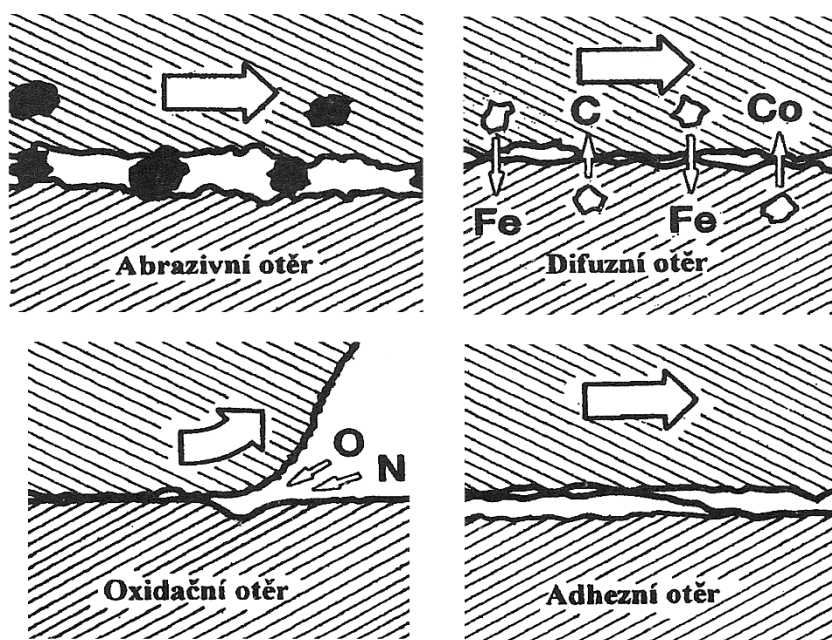
**Oxidační otěr**, tj. oxidační opotřebení, vzniká za výskytu okolního vzduchu a velkých teplot při obrábění, kdy dochází u kovů ke ztrátě valenčních elektronů. K oxidaci dochází už při nejnižších rychlostí, tj. nízkých teplot řezání. Po překročení teploty 700 °C se její intenzita zvyšuje. [3]

**Adhezní otěr** vzniká při obrábění houževnatých kovů za určitých rezných podmínek, např. když se tříška po čele nástroje pohybuje za velkého tlaku a teploty. Na čele nástroje se tvoří zpevněná vrstva kovu, která je přichycená v okolí ostří – nárůstek. [3]

Jedná se o část odebraného materiálu – třísky, která se natavila na nástroj. Poškozuje pracovní plochy nástroje, zhoršuje drsnost povrchu a má vliv i na výrobní přesnost obráběné součásti. Nárůstek je nežádoucí. Adhezní teorie reprezentovaná pracemi Angličanů Boudenaa Tabora zjistila, že skutečný styk vznikne na výstupcích nerovností, kde dojde k jejich plastické deformaci

a tvorbě mikrosváru. Skutečná plocha při této deformaci je tím větší, čím větší je zatěžovací síla  $N$  a čím menší je měrný tlak  $hc$ . [3]

Nejvyšší adheze vznikne mezi dvěma stejnými kovy. Nadmíru značnou adhezi má plošně středěná krychlová mřížka s velkou částí chemické aktivity. [3]



Obr. 12 Základní mechanismy opotřebení [2]

### 3. PROCESNÍ KAPALINY

Použití procesních kapalin je velmi důležité pro vytvoření optimálního řezného prostředí. Tím je myšleno vytvoření takových podmínek, které mají příznivý vliv na odvod tepla z místa řezu, prodloužení trvanlivosti řezného nástroje a na zvýšení povrchové a rozměrové jakosti výrobku.

Při výběru procesní kapaliny na řezný proces je rozhodující znát její charakteristiku, která je nutná pro určení vhodnosti použití. Základní charakteristika se skládá z těchto vlastností: chladicí účinek, mazací účinek, čistící účinek, zdravotní nezávadnost a přiměřené náklady. V současné době je důležitá i její levná likvidovatelnost a především ekologická nezávadnost.

### 3.1. Technologické požadavky na procesní kapaliny

#### 3.1.1. Chladicí účinek

Základní funkcí chladicího účinku je odvod tepla z místa řezu. Odvod tepla vzniklého při řezání je způsoben tím, že procesní kapalina obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla. Velikost chladicího účinku je závislá na výparném teple, smáčecí schopnosti, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto hodnoty vyšší, tím bude vyšší chladicí účinek. [2]

Podstatnou roli hraje i průtokové množství kapaliny. Výparné teplo zvyšuje chladicí účinek kapaliny, ale značné odpařování kapaliny není žádoucí. Aby byla procesní kapalina užita hospodárně z hlediska čistoty a zdraví, je důležité vznikající páry odsávat. [2]



*Obr. 13 Kapalina s převážně chladícím účinkem [9]*

#### 3.1.2. Mazací účinek

Vytváří především různé řezné oleje. Ovlivňuje třecí podmínky mezi třískou a čelem nástroje a také mezi obrobkem a hřbetem nástroje. Mazací účinek kapalin je dán především jejich viskozitou. Ta má vliv na proudění

a přilnavost k nově vznikajícím troucím se povrchům. Dále závisí především na teplotě řezného prostředí, protože při vysokých teplotách 300 °C–1000 °C nedochází ke vzniku mazacího filmu. Teploty, které jsou příznivé pro vytvoření mazacího filmu na povrchu obrobku, se pohybují v rozmezí 120 °C–150 °C (polosuché tření). Polosuché tření se proto může uplatnit pouze u nízkých řezných rychlostí. Mazací účinek se může zvýšit změnou chemického složení řezných olejů, a to přidáním aditiv, esterů, aldehydů atd. Takto zvýšený mazací účinek zajistí tvorbu mazacího filmu, ovšem na druhé straně vzniká problém s likvidací těchto řezných olejů (ekologické aspekty obrábění). Aby došlo ke snížení náročnosti vůči životnímu prostředí používají se proto řezné oleje mísitelné s vodou atd. [2]

### **3.1.3. Čisticí účinek**

Odstraňuje třísky z místa řezání a např. u broušení zlepšuje vlastnosti brousícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Procesní kapalina má také bránit slepování částic, které vznikají při řezání, ale má dovolit jejich usazování. [2]

Jakost čištění závisí i na čistotě kapaliny, tj. na odstraňování nečistot, které kapalina odplavila. Větší nečistoty se sice usadí v nádrži, ale menší mohou být proudem vody odnášeny zpět do místa řezání, kde mohou způsobit i zhoršení jakosti obrobeného povrchu. Velký význam má účinek čištění probroušení a u těch operací, kdy procesní kapalina musí odnášet třísky z místa řezu, např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. [2]

### **3.1.4. Provozní stálost**

Jedná se o dobu výměny procesní kapaliny. Dlouhodobost výměny kapaliny je podmíněná zárukou, že se její vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. [2]

Stárnutí kapaliny olejového typu se projevuje vznikáním pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit defekt stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností procesní kapaliny, zmenšení mazacího

účinku, korozi a hnilobný rozklad, ztrátu ochranných schopností a její rozklad. Provozní stálost kapaliny závisí na teplotě, chemických a fyzikálních vlastnostech. [2]

#### **3.1.5. Ochranný účinek**

Jedná se o schopnost nenapadat kovy a nezpůsobovat korozi. To je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat a aby se i stroje chránily před rezivěním. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do procesní kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím působením. Dalším důležitým požadavkem je to, aby kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a aby nebyla agresivní vůči gumovým těsněním. [2]

#### **3.1.6. Zdravotní nezávadnost**

Procesní kapaliny vycházejí z toho, že při práci na obráběcích strojích obsluha přichází do styku s procesní kapalinou. Proto procesní kapalina nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždící pokožku a sliznici a nesmí být jedovatá. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost procesních kapalin závisí i na jejich provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, např. větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky. [2]

#### **3.1.7. Přiměřené náklady**

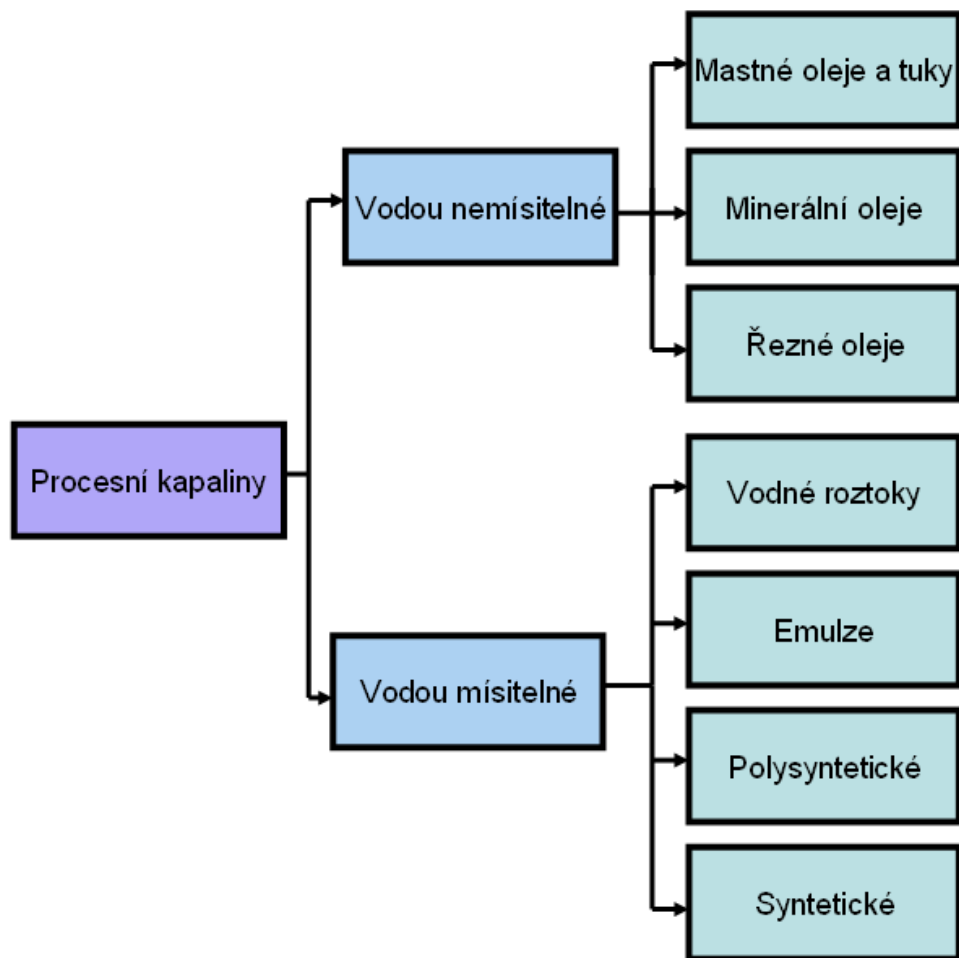
Přiměřené provozní náklady souvisí především se spotřebou řezného média. Při rozboru nákladů je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. průběh plastických deformací v zóně řezání, opotřebení, trvanlivost, ostření nebo výměna nástroje, změny struktury povrchu obrobené plochy a spotřeba energie. Poté následuje hodnocení řezného média s ohledem na jeho provozní stálost, spotřebu, výměnu a náklady na likvidaci. Hodnocení dle cenových rozdílů je nedostatečné, neboť cena řezného média není hlavním parametrem, který by rozhodujícím způsobem ovlivňoval ekonomii obrábění. [2]

### **3.2. Rozdělení procesních kapalin**

Při obrábění kovů v průmyslu jsou jako technologické kapaliny používány řezné oleje nebo emulze. Druhy technologických kapalin se volí dle metody obrábění. Při jejich používání často dochází ke styku s obsluhou stroje a k únikům do okolí. Řezné kapaliny jsou proto regulovány stále přísnějšími bezpečnostními a hygienickými předpisy. Reakcí na ně jsou změny složení kapalin, vznik nových řezných kapalin, ekonomické aspekty a v neposlední řadě také odklon od používání klasických řezných kapalin k mikromazání nebo obrábění zasucha. [10]

Mezi procesní kapaliny můžeme zařadit

- mastné oleje a tuky
- minerální oleje
- řezné oleje
- vodné roztoky
- emulzní kapaliny
- polysyntetické a syntetické kapaliny
- řeznou mlhu
- pevné látky, gely a pasty.



Obr. 14 Rozdělení procesních kapalin

### 3.2.1. Mastné oleje a tuky

Jedná se o látky rostlinného nebo živočišného původu, vyznačující se velice dobrým mazacím účinkem vzhledem k značné přilnavosti ke kovům. [10]

### 3.2.2. Minerální oleje

Minerální oleje jsou výrobky z ropy. Jedná se o uhlovodíkové kapaliny s dobrou mazací schopností, velmi dobrým ochranným účinkem kovů, dobrou odolností vůči stárnutí, avšak horším chladícím účinkem. Nepodléhají však bakteriologickému rozkladu, a tudíž nejsou nositelem bakterií. [10]



### **3.2.3. Řezné oleje**

Hlavní složku řezných olejů tvoří minerální, živočišné, rostlinné oleje, dále organické sloučeniny, mastné látky a pevná maziva. Mají výborný mazací účinek a dobrou smáčivost, avšak malý chladicí účinek. Limitním faktorem pro tyto oleje je řezná rychlost, která nesmí překročit 80 m/min. [10]

Pevná maziva, která se používají jako přísady do řezných olejů, působí při řezání navíc mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu, která je odolná proti tlakům, a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a sirník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu. [5,11]

### **3.2.4. Vodné roztoky**

Jedná se o řezné kapaliny, které slouží především pro odvod tepla. Mají velice dobrý chladicí účinek, nikoliv mazací. Základem jejich složení je voda, kterou je však nutno upravovat přísadami proti korozi a změkčováním. Vodní roztok musí být vždy alkalický. Výhodou jsou velice nízké pořizovací náklady. [5,11]

### **3.2.5. Emulzní kapaliny**

Tato skupina produktů pro obrábění se také někdy nazývá emulzní oleje. Jejich úkolem je vytvářet jak chladicí, tak i mazací účinek. První z nich zajišťuje voda a druhý zprostředkují živočišné, rostlinné nebo ropné oleje. Obě tyto kapaliny jsou vzájemně nerozpustné. Jsou však schopny vytvořit disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, kdy jedna fáze tvoří mikroskopické kapénky rozptýlené ve fázi druhé. Jsou vhodné pro automatizovaná obráběcí centra a různé druhy materiálů nástrojů, např. slinuté karbidy či vysokorychlostní ocel, a patří mezi nejčastěji používané řezné kapaliny, neboť tvoří asi 80 % z jejich celkového objemu. Využívají se též u vysokorychlostního obrábění, kde se používá tlak emulze nad 6 MPa (60 barů - vysokotlaké chlazení). Emulze mohou mít negativní vliv na lidské zdraví, kdy může dojít např. k infekci kůže. Aby nedošlo ke ztrátě chemického složení a stability, je nutno udržovat čistotu v nádrži stroje. [5,11]

### **3.2.6. Polosyntetická rozpouštědla**

Obsahují do 40 % oleje a přidáním vody vytváří průhledný roztok. Mají velice dobrý chladicí účinek a dlouhou životnost. Důležitým aspektem je jejich nehořlavost. [5,11]

### **3.2.7. Syntetická rozpouštědla**

Do této skupiny patří zejména glykoly, polyglykoly a estery, které jsou snadno rozpustné ve vodě. Přestože obsahují velice malé množství oleje, zabraňují korozi již při nízkých koncentracích. Mají velice dobrý nejen chladicí a mazací účinek, ale také velice dobře odvádí třísky a nečistoty z místa řezu. Výhod těchto rozpouštědel se využívá především u broušení, protože nezanáší brusný kotouč a velice rychle odvádí teplo. [5,11]

### **3.2.8. Řezná mlha**

Jedná se zpravidla o olejovou emulzi rozptýlenou tlakem vzduchu, který vytéká z trysky rychlostí až 300 m/s. Má výborný chladicí účinek, který se ještě zvyšuje podchlazením při expanzi. Tryska bývá nasměrována přímo na řeznou část nástroje před jeho najetím do řezu. [5,11]

### **3.2.9. Pevné látky, gely a pasty**

Používají se v náročných, těžkých pracovních podmínkách. Patří sem sirník molybdeničitý, grafit rozptýlený v oleji nebo tuku. Dále se používají pasty s obsahem fosforu a síry, které vytváří při styku s kovem mazací vrstvičku z kovových mýdel. [5,11]

## **3.3. Životnost procesní kapaliny**

Je doba, po kterou si procesní kapalina udrží vlastnosti dostatečné pro plnění svojí funkce v obráběcím procesu. Trendem, vzhledem k vysokým pořizovacím cenám kapaliny a nutným odstávkám strojů při její výměně, je maximalizovat životnost procesní kapaliny. Zvýšení životnosti můžeme dosáhnout dostatečným vyčištěním stroje před výměnou kapaliny, volbou vhodné procesní kapaliny, dostatečnou filtrací a stálou teplotou. [10]

### **3.4. Negativa používání procesních médií (kapalin)**

K zavedení procesních médií, především kapalin, došlo v době, kdy zvýšeným technologickým požadavkům již neodpovídaly vlastnosti řezných materiálů. Nasazením procesních kapalin se vyřešily potíže s trvanlivostí bříty, s kvalitou a přesností obrobeneho povrchu, s odstraňováním třísek a s řadou dalších záležitostí. Negativem takového řešení však bylo a nadále zůstává zkomplikování technologického vybavení procesu, s čímž souvisí i zvýšení nákladů na výrobu. V neposlední řadě k tomu ještě přistupují ekologická a zdravotní hlediska, jejichž význam rychle narůstá nejen z legislativních důvodů, ale především z hlediska nákladů spojených s likvidací případných ekologických havárií a zdravotních odškodnění. [9]

Dalším neméně důležitým omezujícím faktorem v používání procesních kapalin jsou rozšiřující se zákonné předpisy o manipulaci s chemickými látkami. Současným trendem v obrábění je proto snaha o omezení, např. pomocí metody MQL, nebo úplné vyloučení používání procesních kapalin. Rychlý pokrok v technologii obrábění a nové druhy řezných materiálů to již umožňují. [9]

### **3.5. Náklady na aplikaci procesních kapalin**

Z dostupných informací bylo zjištěno, že náklady na aplikaci procesních kapalin na transferových obráběcích linkách se často pohybují mezi 7 a dokonce až 17 % výrobních nákladů vztažených na jeden obrobek. To je podstatně více, než se dříve předpokládalo a než činí průměrné náklady např. na řezné nástroje, tj. 2 až 4 %. V běžných provozech však náklady na procesní kapaliny obvykle nepřekračují 5 %. Rovněž nelze zanedbat ani další zvýšení nákladů spojené se zpracováním třísek obsahujících zbytky procesních kapalin a s čištěním hotových obrobků od nich. [9]

Z výše uvedeného textu je zřejmé, že procesní kapaliny mají spíše negativní hodnocení, ať už z hlediska hospodárnosti pro firmu, či negativního dopadu s ohledem na životní prostředí. Proto je zde snaha o minimalizaci

používání procesních medií, např. níže uvedenou metodou minimálního množství procesní kapaliny.

### **3.6. Metoda minimálního množství procesní kapaliny**

Tam, kde není možné obrábět zcela zasucha, je výhodné aplikovat metodu používání minimálního množství procesní kapaliny, tj. MQL (Minimal Quantities of Lubricant). Jedná se o novou variantu u nás již dříve známého mazání mlhou. Metoda MQL je v řadě případů obrábění ekonomicky výhodná a nelze se bez ní obejít. V případě optimálního seřízení přístroje se průměrně spotřebuje o 50 ml méně procesního média na hodinu obrábění. [9]

Výhodou této metody je, že nástroje, obrobky i třísky zůstávají prakticky suché, proto není nutné další odstraňování zbytků procesních kapalin z obrobku nebo třísek. Metoda MQL sice může být považována za obrábění zasucha, přesto však vznikající aerosol může vyvolat problémy s hygienou pracovního prostředí. Většinou se tedy vyžaduje dobré utěsnění pracovního prostoru obráběcího stroje od okolí a odsávání vzniklého aerosolu přes účinné filtry. [9]

Metoda se uplatňuje zvláště při vrtání, vystružování a řezání závitů do slitin hliníku, oceli a šedé litiny, dále také při hlubokém vrtání a čelním frézování slitin hliníku. Je možno ji aplikovat i v takových případech soustružení oceli, kdy je břit nože dobře přístupný z boku. Jedná se o tzv. ortogonální řezání. Použitím MQL se oproti čistému obrábění zasucha nebo konvenčnímu chlazení sníží koeficient tření i teplota řezání. [9]



*Obr. 15 Metoda MQL [9]*

## **4. Metody strojních zkoušek**

### **4.1. Metody měření**

Potřeba zkoušení některých vlastností u procesních kapalin se dnes již stala běžnou praxí. S narůstajícími požadavky a vyššími technologiemi strojních celků a zařízení se tyto požadavky rozšiřují a vedle standardních metodik, které prověřují procesní kapaliny po jejich fyzikální a chemické stránce, jsou kladeny požadavky i na prověřování hlediska užitných vlastností u provozních aplikací. Ne vždy stačí zmíněné zkoušky vystihnout výkonovou a viskozitní klasifikací, navíc u řady z nich, viz procesní kapaliny, to není ani možné. Důvodem je tedy ověřování mazacích vlastností (protioděrové, protizadírací) jak naformulovaných procesních kapalin, tak i procesních kapalin ve fázi samotného vývoje. Navíc je přáním některých firem, u produktů jako jsou vodou nemísitelné kapaliny, tyto hodnoty uvádět pro potřeby dalšího výběru pro dané výrobní linky, kde se většinou jedná o náplně filtračních systémů v objemu desítek tun a kde je změna spojená s vysokým rizikem změny kvality vyráběného produktu. [12]

Závěry hodnocení maziv chemicko-fyzikálními metodami nám jen nepřímou ukázkou na jejich kvalitu z hlediska mazivosti, resp. únosnosti mazacího filmu. Mazivost obecně stoupá s vyšší viskozitou, ale tato závislost není

pravidlem. Mazivost procesní kapaliny závisí především na jejím chemickém složení. [12]

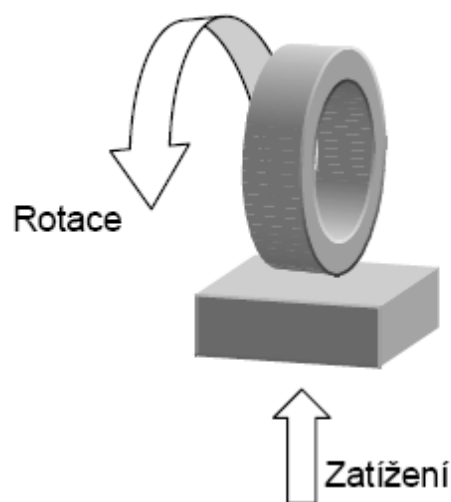
Většina testovacích strojních metod byla vyvinuta se záměrem co nejlépe simulovat podmínky reálného zatížení. Uvedené zkoušky se provádějí na více přístrojích, a to dle metodik převážně simulujících třecí dvojici. Zde se posléze hodnotí řada parametrů, např. kritéria průběhu záděru, zatěžující síla, zanechaná stopa na třecích plochách, opotřebení a váhový úbytek třecích ploch atd. Zkušební metodiky splňují řadu norem, např. ASTM, DIN, IP atd. Pro uvedené testy jsou využívány různá měřicí zařízení (TRIBOMETRY), např. FALEX, Čtyřkuličkový stroj, Brugger test nebo Reichert test, TIMKEN, FZG a další. [12]

Uplatnění těchto zkoušek lze využít při výkonovém porovnávání procesních kapalin, jejich formulaci a volbě aditiv, optimalizaci jejich obsahu, testování základových olejů, sledování změn mazivosti v průběhu oxidačního namáhání, tj. stárnutí. Oblast použití se nesoustřeďuje pouze na jednu skupinu, ale použití lze aplikovat na celé škále produktů, např. automobilové oleje motorové a převodové, převodové oleje průmyslové, oleje pro kluzné vedení, hydraulické oleje, procesní kapaliny, plastická maziva atd. [12]

## **4.2. Přístroje simulující reálný třecí kontakt**

### **4.2.1. Timkenload tester**

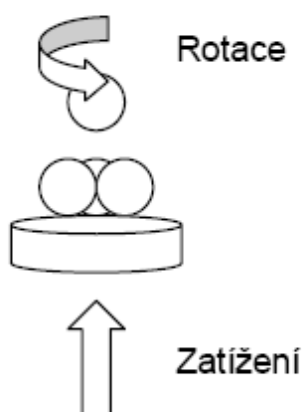
Timkenload tester je přístroj simulující reálný třecí kontakt pomocí stacionárního kvádru přitlačovaného na rotující kroužek. Oba tyto elementy jsou vyrobeny z definovaného materiálu a mají přesně určené rozměry. Jejich vzájemná poloha je znázorněna na (obr. 16). K vyhodnocení mazivosti zkoumané látky se používají postupy popsané v normách IP 240, 326; ASTM D 2782, D 2509; DIN 51434. Hodnocenými parametry jsou OK load (hodnota tlaku, při němž ještě nedojde k pozorovatelnému poškození třecích elementů), Seizureload (hodnota tlaku, při kterém dojde ke svaření třecích elementů) a opotřebení třecích elementů v průběhu testu, které se udává jako změna váhy třecích elementů [12,13]



Obr. 16 Timkenload tester [13]

#### 4.2.2. Fourball tester

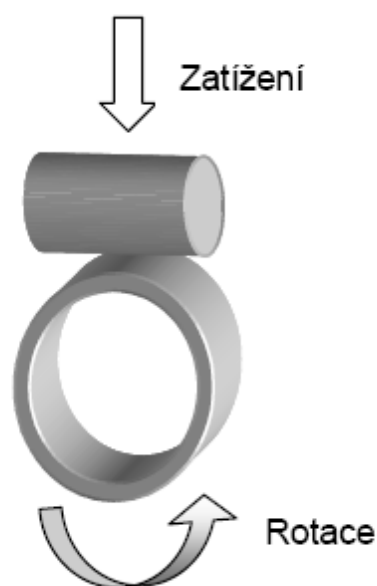
Fourball tester (ČKS) je přístroj simulující třecí kontakt mezi čtyřmi ocelovými kuličkami, z nichž tři jsou stacionární a jsou tlačeny k vrchní, rotující kuličce (obr 17). K vyhodnocení mazivosti zkoumané látky se používají postupy popsané v normách IP 239; ASTM D 2783, D 4172, D 2596, D 2266, DIN 51350. Hodnocenými parametry jsou zatížení a čas nutný ke svaření kuliček, nebo opotřebení kuliček vzniklé v průběhu testu. K vyhodnocení se používá mikroskop. [12,13]



Obr. 17 Fourball tester [13]

#### 4.2.3. Reichert tester

Hodnocení mazivosti probíhá dle norem firmy PETROTEST. Testovací zařízení se skládá z pevně ukotveného testovacího válečku a z definovaného materiálu (ocel, Al, Cu, mosaz), který je přitlačován pomocí pákového mechanismu na otáčející se brusný prstenec vyrobený ze speciální legované oceli. Brusný prstenec je svou spodní třetinou ponořen do zkoušeného vzorku kapaliny. Otáčením prstence se dostatečné množství kapaliny dostává do kontaktu s testovacím válečkem a brusným prstencem. Třecí kontakt je zobrazen na (obr. 18) Výsledkem testu je elipsovité plocha vytvořená na povrchu testovacího válečku a váhový úbytek na těle testovacího válečku a brusném prstenci. [12,13]



Obr. 18 Reichert tester [13]

Ale neexistuje však metoda pro zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin.



## 5. Cíl práce

- Navržení metody pro zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců, v laboratoři KOM FS TUL.
- Zjištění vlivu parametrů obrábění (řezné rychlosti, délky obrobku a materiálu VBD) na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.
- Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců.
- Doporučit průmyslu kapalinu s nejlepšími antiadhezními vlastnostmi.

## II. Experimentální část řešení

### 6. Charakteristika strojů, přístrojů, měřícího zařízení a použitých PK

#### 6.1. Místo měření

Experiment a měření proběhlo na půdě Technické univerzity v Liberci v nově vybudovaných laboratořích katedry obrábění a montáže na budově L.

#### 6.2. Použitý stroj

Jednou z částí experimentu bylo hoblování zkušebních vzorků, které bylo prováděno na stroji svislou konzolovou frézku TOS Olomouc typ FA4A-V (obr. 19) disponující těmito technickými parametry.

Základní technické parametry stroje

Výkon hlavního motoru:	7,5	[kW]
Vertikální vřeteno - rozsah otáček:	32-1400	[ot/min]
Maximální zatížení stolu:	350	[kg]
Pracovní zdvih:		
- podélný (X)	1000	[mm]

- příčný (Y)	355	[mm]
- svislý (Z)	425	[mm]

Posuvy:

- počet stupňů	15	
- rozsah (X, Y)	10-1250	[mm/min]
- rozsah (Z)	2,5-315	[mm/min]

Výška: 2115 [mm]

Zastavěná plocha: 3010x2230 [mm]

Hmotnost: 2730 [kg]



Obr. 19 frézka TOS Olomouc typ FA4A-V

### 6.3. Chladicí soustava

Chladicí soustava je tvořena nádobou o objemu 3 l, spouštěcím kohoutem a systémem vedení PK nazývané LOC-LINE FLEXI.

Stejný objem kapaliny v nádobě nám vždy zajišťoval konstantní tlak přitékající kapaliny, která byla přiváděna vlivem gravitace a byly tak zaručeny stejné podmínky pro všechny zkoušené PK.



Obr. 20 Chladicí soustava

### 6.4. Nástroj

Nástrojem při hoblování byl použit soustružnický nůž od firmy Pramet Tools, s.r.o. s označením CTCNP 2514 M16 (obr. 5) a s vyměnitelnou břitovou destičkou TPUN 160304; S26 (obr. 6).

Rozměry a geometrie nástroje:

$$h = h_1 = 25 \text{ mm},$$

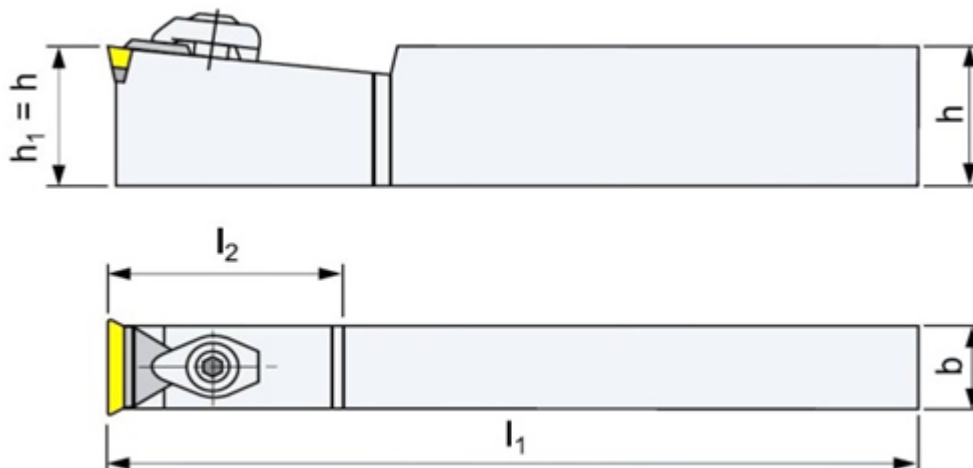
$$b = 13,8 \text{ mm},$$

$$l_1 = 150 \text{ mm},$$

$l_2 = 34 \text{ mm}$ ,

$\gamma_0 = 0^\circ$ ,

$\lambda_s = +5^\circ$ .



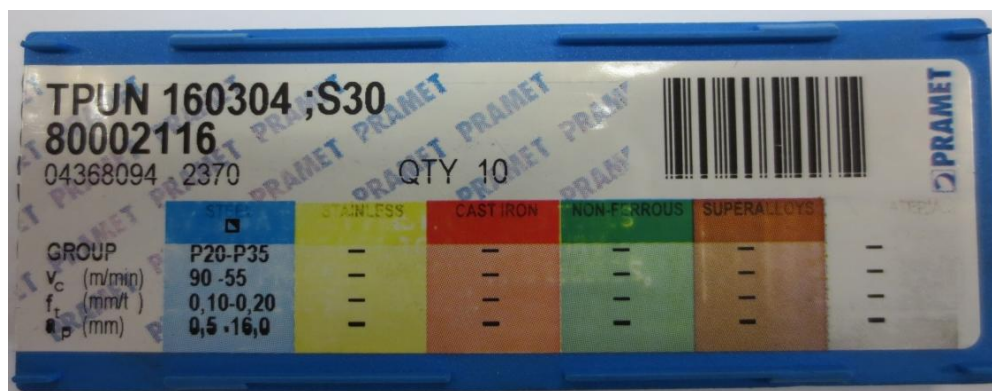
Obr. 21 Soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16

## 6.5. VBD

Jako VBD byly použity SK bez povlaku.



Obr. 22 Vyměnitelné břitové destičky TPUN 160304; S26



Obr. 23 Vyměnitelné břitové destičky TPUN 160304; S30



Obr. 24 Vyměnitelné břitové destičky TPUN 160304; H10

## 6.6. Zkušební vzorek

Jako zkušební a zároveň obráběný materiál jsme použili korozivzdornou ocel ČSN 17 021. Ta byla vybrána proto, že nerezové oceli mají nejlepší adhezní vlastnosti. Vzorek byl obroben na tyto rozměry - šířka  $b = 6$  mm, výška  $h = 25$  mm, délka  $l = 60$  mm.

Výhody při používání nerezových ocelí jsou

- snadná obrobitelnost
- zvýšení řezných rychlostí
- výrazně nižší opotřebení řezných nástrojů.

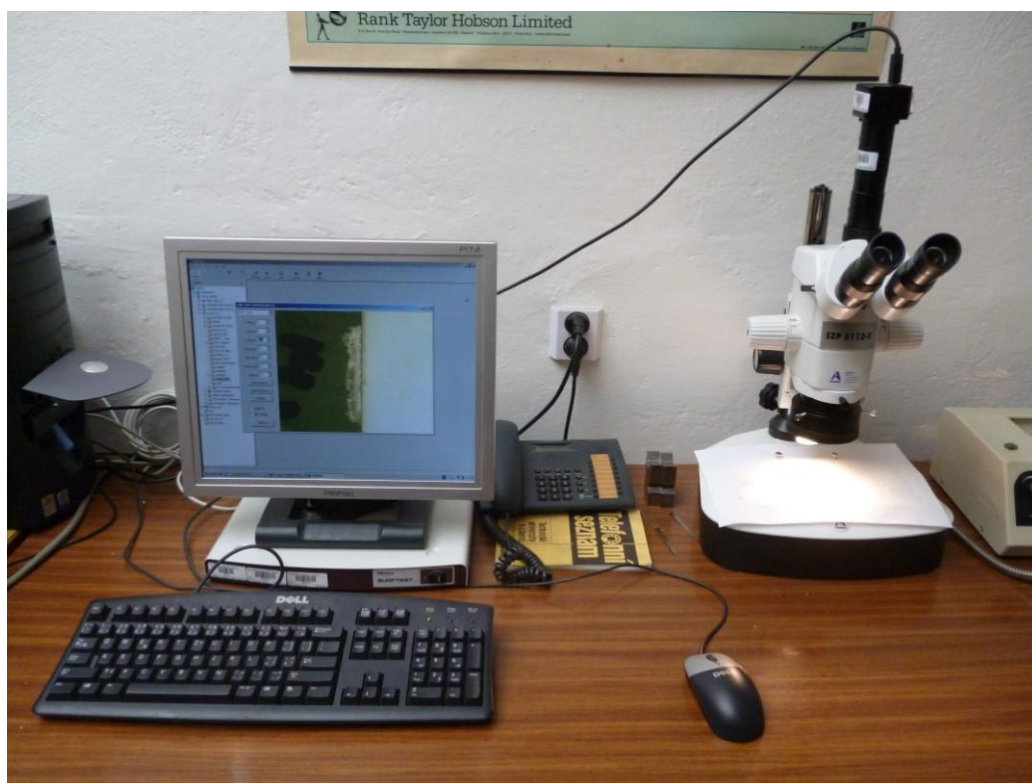


## 7. Použité měřicí přístroje

K experimentu bylo také za potřebí použití níže uvedených měřicích přístrojů, které stručně popíšu.

### 7.1. Mikroskop Arsenal SZP 3112–T

Pro vyfocení snímků ke zjištění velikosti opotřebení na hřbetu VBD byl použit mikroskop Arsenal SZP 3112–T, který má připojenou laboratorní kameru LABO 3MP (obr. 25). Tato kamera je propojena se stolním počítačem Dell, kde se fotografie zobrazí a uloží pomocí programu Minisee.



*Obr. 25 Mikroskop Arsenal SZP 3112–T s kameru LABO 3MP*

### 7.2. Refraktometr

Pro měření koncentrace emulzního oleje ve vodě byl použit refraktometr OptechBrix, typ RLC/ATC, rozsah koncentrace 0-18 %, přesnost 0,1 % (obr. 26).

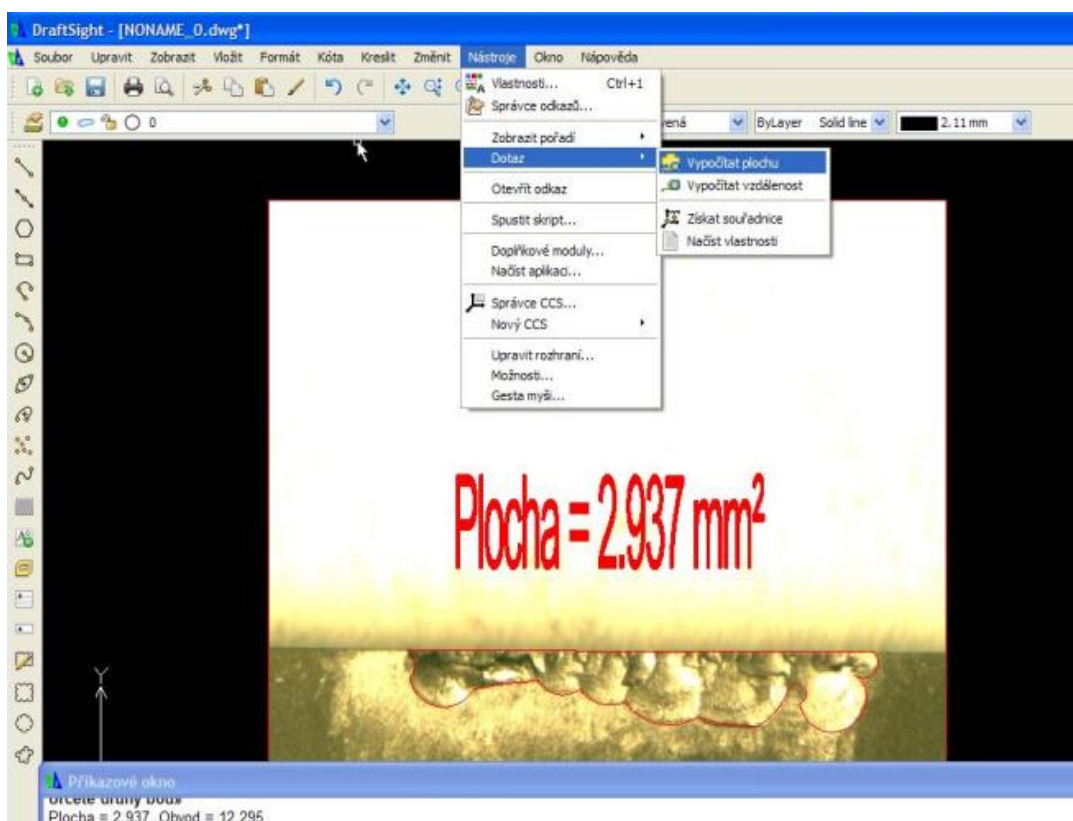


Obr. 26 Refraktometr

### 7.3. Draft Sight

Pomocí tohoto 2D programu bylo zjišťováno, jakým způsobem je každá VBD opotřebovaná. To se zjišťovalo z vyloupnutého materiálu na břítu VBD pomocí funkce suma ploch, kde se nejprve vyloupnuté místo označilo křivkou, následně několika body a program vypočítal opotřebovanou plochu.

Následující obrázek (obr. 27) nám ukazuje opotřebovanou plochu VBD a výpočet. Pro ukázkou byla vybrána VBD chlazenou kapalinou Grindex 10.



Obr. 27 Program Draft Sight

## 8. Použité procesní kapaliny

### 8.1. Blasocut BC 35 Kombi

#### Popis:

Blasocut BC 35 Kombi je s vodou mísitelná, chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi minerálních olejů. Kapalina obsahuje polární aditiva, která zaručují zvýšený výkon při třískovém opracování.

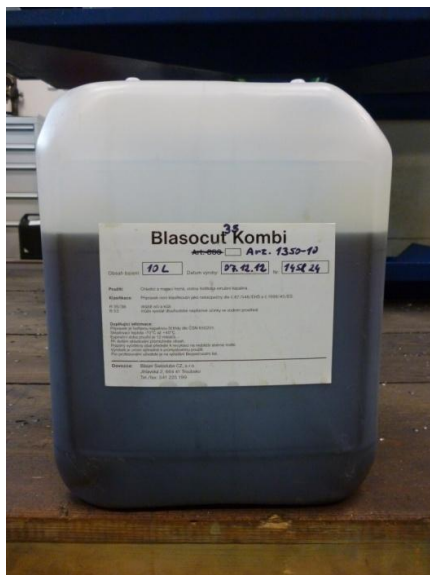
#### Oblast použití:

Jedná se o univerzální výrobek vhodný pro lehké a střední třískové opracování. Dále pro broušení litiny, oceli, slitin hliníku a barevných kovů.

#### Doporučená koncentrace:

- variabilní koncentrace 3–15 %,
- běžné obrábění 5–8 %,
- broušení 3–5 %.

**Hodnota REFRAKTOMETRU = 1**



Obr. 28 Blasocut BC 35 Kombi



## 8.2. Grindex 10

### Popis:

Grindex 10 je syntetická, s vodou mísitelná PK, která má vysokovýkonný chladicí a mazací efekt. Neobsahuje žádný olej a je určena především pro broušení.

### Oblast použití:

Chladicí a mazací látka, která je především určena pro nejrozmanitější způsoby broušení ocelí a litin.

### Doporučená koncentrace:

- variabilní koncentrace 3–5 %,
- běžné broušení 3 %.

**Hodnota REFRAKTOMETRU = 1,6**



Obr. 29 Grindex 10

## 8.3. Vasco 1000

### Popis:

Vasco 1000 je s vodou mísitelná, vysoce výkonná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi rostlinných olejů a přírodních esterů.

### Oblast použití:

Vysoce výkonný výrobek, vhodný pro střední a těžké druhy třískového obrábění litiny, oceli, slitin hliníku barevných kovů a těžce obrobitelných materiálů. Je použitelný rovněž pro broušení.

**Doporučená koncentrace:**

- variabilní koncentrace 5–15 %,
- běžné obrábění 5–8 %,
- těžké obrábění přes 7 %,
- broušení 5 %.

**Hodnota REFRAKTOMETRU = 1,6**



*Obr. 30 Vasco 1000*

#### **8.4. Paramo Eops 1030**

**Popis:**

Vodou mísitelná univerzální obráběcí kapalina s vyváženým chladicím a mazacím účinkem pro široké spektrum obráběcích operací.

**Oblast použití:**

Používá se pro broušení měkkých ocelí, bezhroté broušení měkkých i tepelně zpracovaných ocelí, soustružení, frézování, obrábění osovými nástroji na obráběcích centrech i univerzálních obráběcích strojích.

**Doporučená koncentrace:**

- variabilní koncentrace 3–10 %

**Hodnota REFRAKTOMETRU = 1,2**



*Obr. 31 Paramo Eops 1030*

## **8.5. Hocut 795 B**

### **Popis:**

Vodou mísitelná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru, s vysokými mazacími účinky a ultra dlouhou životností. Má velmi nízký sklon k pěnovosti.

### **Oblast použití:**

Vynikající vlastnosti produktu ho předurčují k obrábění hliníku, slitin hliníku (letecký, automobilový průmysl) a pro vysoce jakostní legované oceli.

### **Doporučená koncentrace:**

- běžné materiály 4–5 %
- vysokopevnostní materiály 5–10 %

**Hodnota REFRAKTOMETRU = 1**



Obr. 32 Hocut 795 B

## 8.6. Cimstar 620

### Popis:

Cimstar 620 je s vodou mísitelná koncentrovaná řezná kapalina vytvářející mikroemulzi. Vyznačuje se dlouhou životností z důvodu speciálního složení produktu.

### Oblast použití:

Tato řezná kapalina je doporučena pro střední až těžké operace broušení a obrábění všech železných i neželezných materiálů. Je zvláště vhodná pro slitiny hliníku.

### Doporučená koncentrace:

- variabilní koncentrace 3–10 %

**Hodnota REFRAKTOMETRU = 1,4**



Obr. 33 Cimstar 620

## 9. Průběh praktické části experimentu

Jak jsem již zmínil experiment byl realizován v dílnách a laboratořích TUL.

Prvotní fází bylo seznámení s bezpečností práce, dále se stroji a řešením daného experimentu. Následovala první část, která zahrnovala spíše manuálnější práci, a to přípravu PK, přípravu zkušebních vzorků a samotný proces hoblování. Tato část byla prováděna v nových prostorách budovy L.

Dalším krokem experimentu bylo nafocení opotřebení VBD a zjištění velikosti plochy opotřebení. Fotky jsem zhotovil na mikroskopu Arsenal a pro zjištění plochy opotřebení, tzv. vylomení bříty VBD, jsem použil 2D program Draft Sight.

### 9.1. Příprava procesní kapaliny

Postup namíchání PK proběhl tímto způsobem. Do čisté nádoby bylo nalito určité množství vody, poté následovalo přilítí PK a na závěr se vše důkladně promíchalo. Za pomoci ručního refraktometru byla změřena koncentrace, která měla dosahovat hodnoty 5 %. Pokud tato hodnota nebyla dosažena, tak se celý proces „míchání“ opakoval, dokud jsme požadované

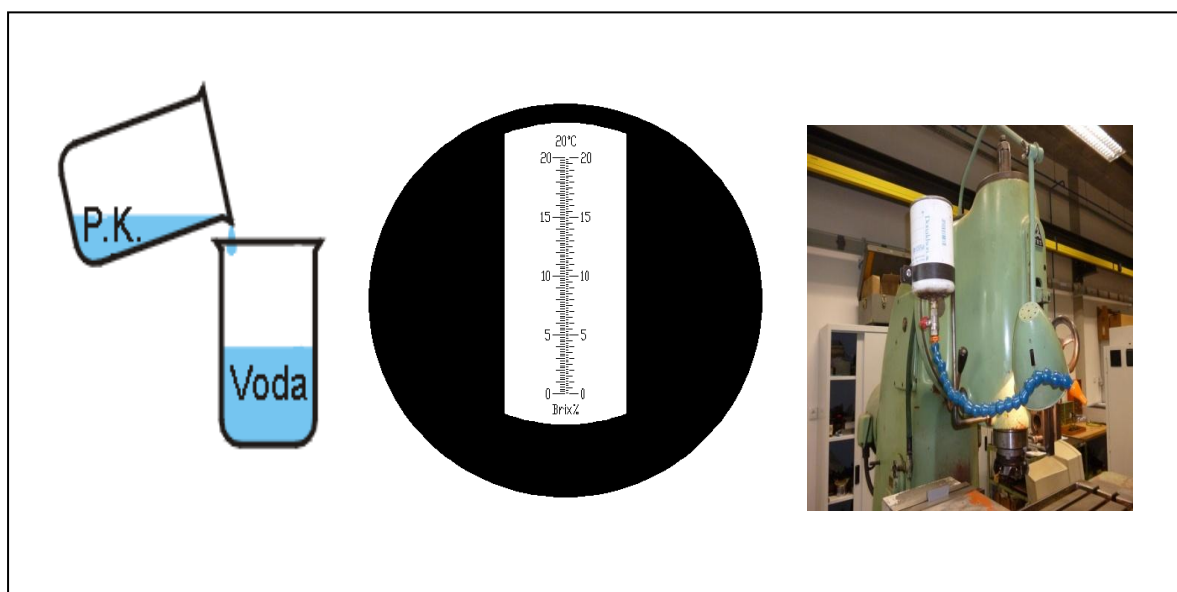
koncentraci nedosáhli. Po správném smísení a dosažení 5 % koncentrace byla procesní kapalina přelita do chladicí soustavy stroje (obr. 34 a 20) a za pomoci systému LOC-LINE FLEXI transportována do požadovaného místa řezu.

Během testování každého vzorku procesní kapalinou byla chladicí soustava stroje vyčištěna vodou tak, aby se byt' jen malé množství PK nemísilo s budoucí PK a nedocházelo tak k ovlivňování finálního měření.

Koncentrace byla vypočítána dle vzorce:

$$k = \frac{5}{r_i} \% \quad \text{Kde: } k = \text{hodnota potřebná naměřit na refraktometru}$$

$r_i$  = refrakční (opravný) index

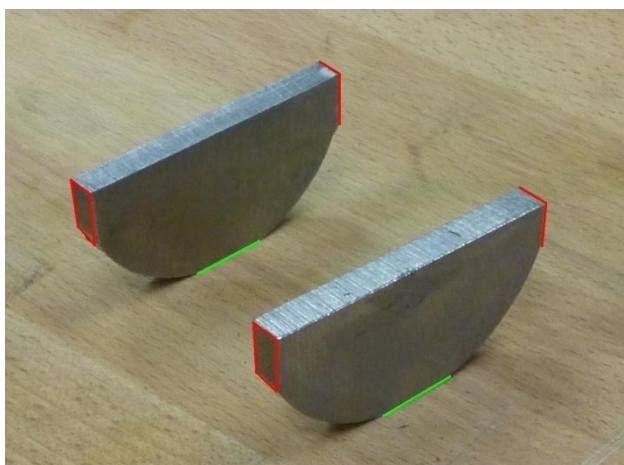


Obr. 34 Příprava procesní kapaliny

## 9.2. Příprava zkušebních vzorků

Abychom mohli zkušební vzorek ČSN 17021 začít obrábět, je nutno nejprve provést několik praktických úkonů.

Polotovar, který jsme měli k dispozici, byl kruhového průřezu. Ovšem takto by se nám jen stěží hobloval, proto jsme ho za pomoci pásové pily (obr. 36) rozřízli na polovinu (obr. 35).



Obr. 35 Zkušební vzorek



Obr. 36 Pásová pila AGR 300 Plus

Pro dosažení požadovaných rozměrů bylo dále potřeba materiál z obou stran oříznout na rozměr délky  $L = 60 \text{ mm}$ . Vše je vidět na (obr. 35), kde je oříznutí zvýrazněno červenou barvou.

Spodní část vzorku bylo potřeba ofrézovat tak, aby byla vytvořena souvislá rovná plocha zhruba 2 cm dlouhá, a to z důvodu zamezení kolébání vzorku.

Viz (obr. 35), kde je plocha vyznačena zelenou barvou.

### 9.3. Nastavení řezných podmínek

Veškeré experimenty jsme prováděli při stejných řezných podmínkách, které jsme na stroji ručně nastavili (obr. 37).



Obr. 37 Nastavení řezných podmínek

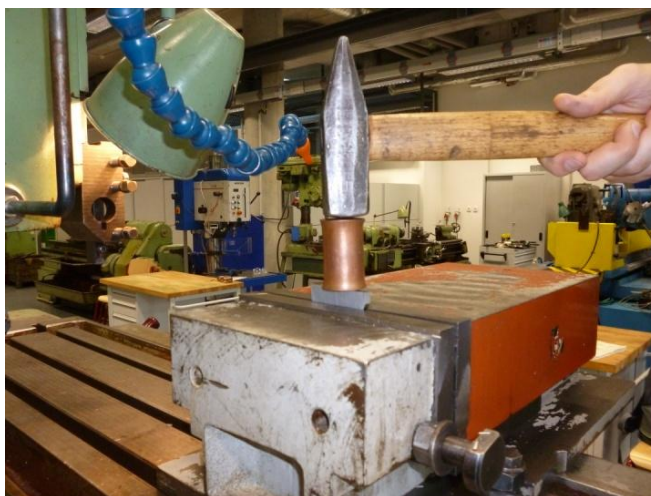
Nastavené řezné podmínky:

$v_c$	900	[mm/min]
$a_p$	0,1	[mm]

## 10. Samotný průběh celého experimentu

Nejprve jsme ukotvili zkušební vzorek do svěráku tím způsobem, abychom zamezili již zmíněnému kolébání materiálu, nebo i dokonce vytržení a následnému „vylítnutí“ materiálu ze svěráku, což se při hoblování vlivem vysokých řezných sil může stát. Proto jsme vzorek nejprve lehce dotáhli rukou a poté přes mosaznou kulatinu dorazili kladivem, dokud nedosedl na obroušenou plochu (obr. 38).





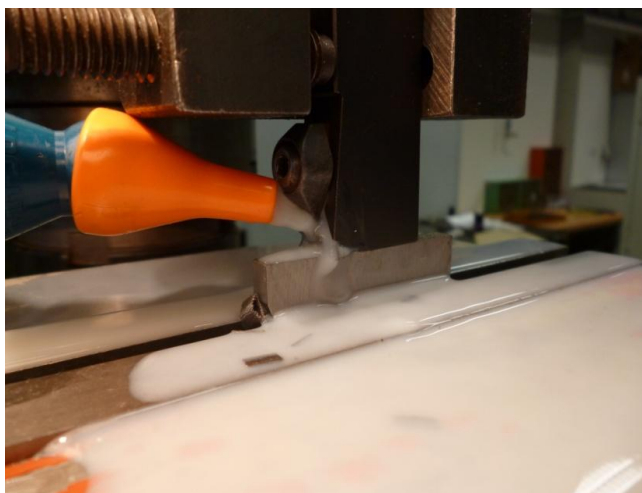
*Obr. 38 Ukotvení vzorku*

Dalším krokem bylo nalití PK do chladicího systému stroje a následné přivedení systému LOC-LINE FLEXI do místa řezu. Ještě před spuštěním PK jsme jedním přejetím hoblovacího nože zarovnali plochu vzorku tak, abychom odstranili případné nerovnosti (obr. 39).



*Obr. 39 Hoblování bez PK*

Následující obrázek (obr. 40) nám již znázorňuje, jak probíhal celý proces hoblování s nepřetržitým přitékáním procesní kapaliny. V tomto případě se jednalo o kapalinu Vasco 1000. Vždy jsme s použitím podélného posuvu na frézce začali hoblovat až do doby, než bylo dosaženo 100 řezů na jednom břitu VBD.

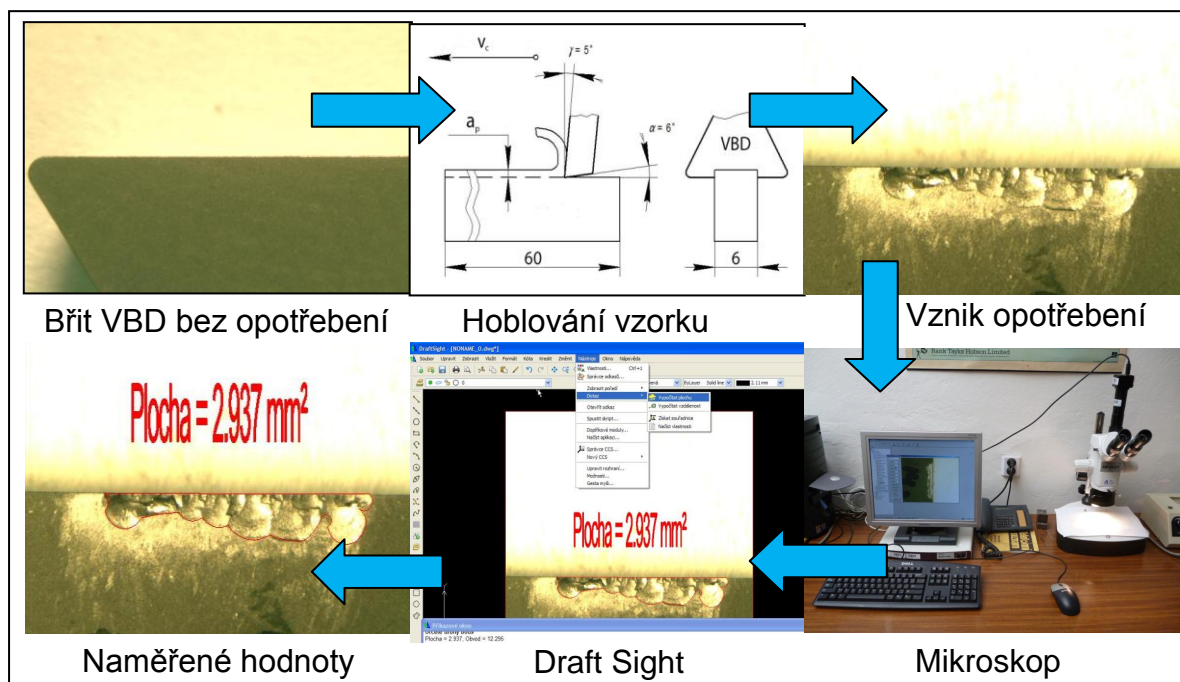


*Obr. 40 Hoblování s PK*

### **10.1. Způsob zjištění antiadhezních vlastností**

Při dokončení procesu hoblování jsem všechny VBD přemístil do laboratoří. Tam za pomoci mikroskopu proběhlo vyfocení každého opotřebovaného břitu VBD tím způsobem, že Mikroskop Arsenal je propojen s počítačem, kde se vše za pomoci programu Minisee po správném nastavení zaznamenávalo a ukládalo do počítače. Celkem bylo potřeba zhotovit 60 snímků.

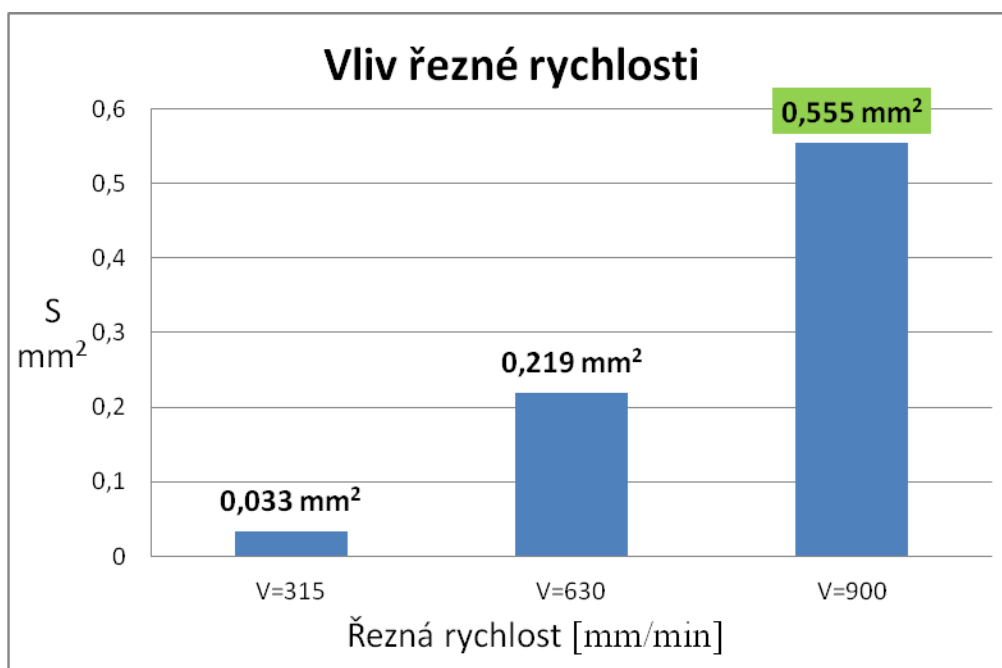
Poté už jsem vše realizoval na mém vlastním počítači. Každý snímek VBD jsem nahrál do 2D programu Draft Sight a pomocí funkce „vypočítat plochu“ jsem vypočítal opotřebovanou plochu VBD (obr. 41).



Obr. 41 Schéma zjištění antiadhezních vlastností

## 11. Zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny

### 11.1. Zjištění vlivu řezné rychlosti na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny

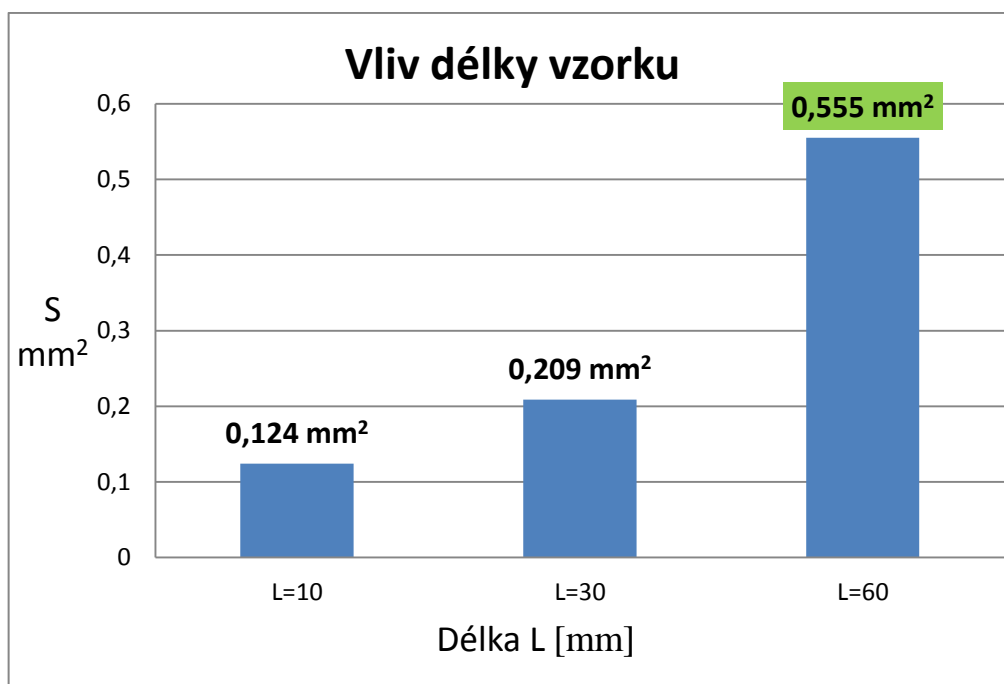


Graf č.1 Vliv řezné rychlosti

Během tohoto experimentu bylo zjištěno, že antiadhezní vlastnosti PK při řezné rychlosti 315 mm/min jsou o 6,5krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při řezné rychlosti 630 mm/min a o 17krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při řezné rychlosti 900 mm/min.

Při řezné rychlosti 900 mm/min sice destička dosáhla největšího opotřebení tj. měla největší adhezní vlastnosti, ale z důvodu zvýšení citlivosti metody pro zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin volíme právě tuto řeznou rychlost.

## 11.2. Zjištění vlivu délky vzorku na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny



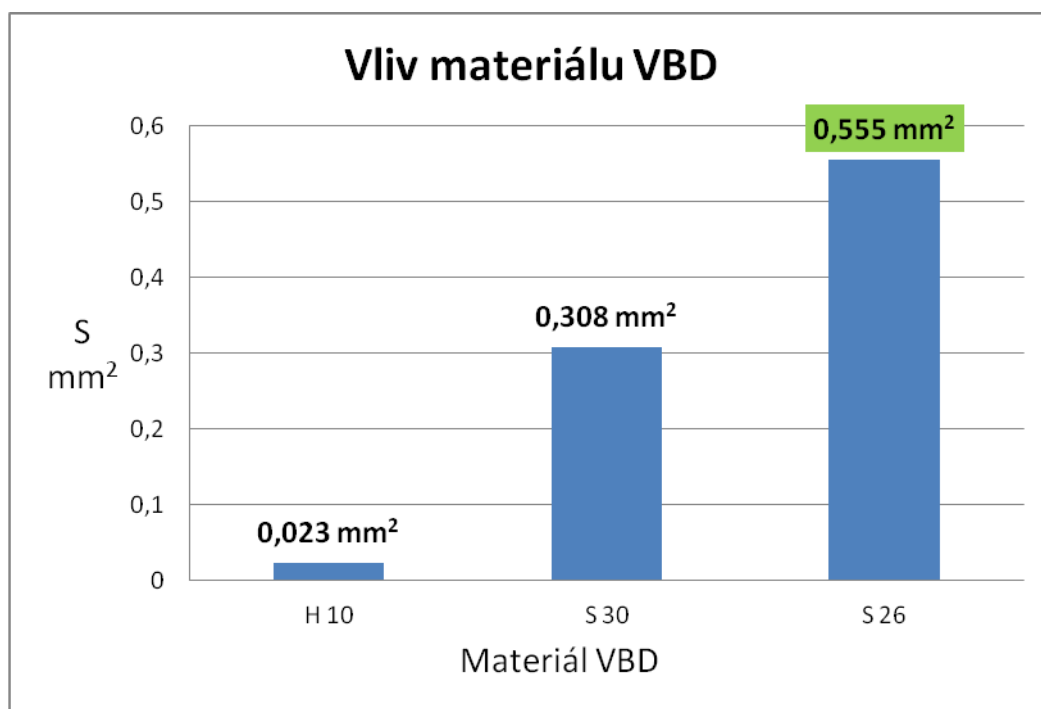
Graf č.2 Vliv délky vzorku

Při posuzování vlivu délky vzorku jsme dospěli k následujícímu závěru.

Antiadhezní vlastnosti PK při délce vzorku 10 mm je o 1,5krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při délce vzorku 30 mm a o 4,5krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při délce vzorku 60 mm.

Pro další praxi bylo doporučeno pracovat s délkou vzorku  $L = 60$  mm, kde sice VBD dosáhla největšího opotřebení, tj. měla největší adhezní vlastnosti, ale z důvodu zvýšení citlivosti metody pro zjištění antiadhezních vlastností PK volíme právě tuto délku vzorku.

### 11.3. Zjištění vlivu materiálu VBD na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny



Graf č.3 Vliv materiálu VBD

Při zjištění vlivu materiálu VBD na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny jsme dospěli k následujícímu závěru.

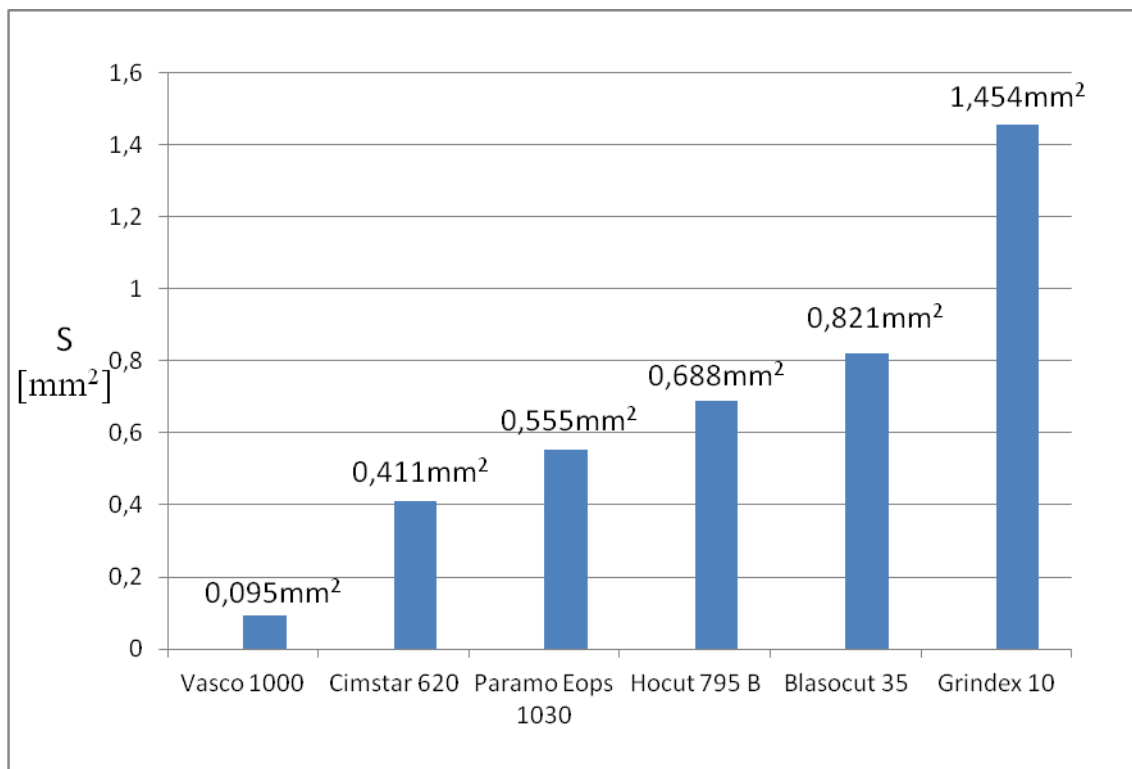
Antiadhezní vlastnosti PK při materiálu VBD H10 je o 13,5krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při materiálu VBD S30 a o 24krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při materiálu VBD S26.

Pro další praxi bylo doporučeno pracovat s VBD S26, kde sice VBD dosáhla největšího opotřebení, tj. měla největší adhezní vlastnosti, ale z důvodu zvýšení citlivosti metody pro zjištění antiadhezních vlastností PK volíme právě tuto VBD.

Předchozí experiment probíhal při použití pouze jedné procesní kapaliny Paramo Eops 1030.

Na (grafu č. 4) už bylo porovnáváno všech šest zkoušených kapalin při těchto parametrech obrábění, tj. řezná rychlost 900 mm/min, délka zkušebního vzorku 60 mm a materiál VBD S26.

#### 11.4. Porovnání antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců



Graf č.4 Porovnání antiadhezních vlastností PK

- Procesní kapalina Vasco 1000 má o 4krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Cimstar 620.
- Procesní kapalina Vasco 1000 má o 5,5krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Paramo Eops 1030.
- Procesní kapalina Vasco 1000 má o 7krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Hocut 795 B.
- Procesní kapalina Vasco 1000 má o 8,5krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Blasocut 35.
- Procesní kapalina Vasco 1000 má o 15krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Grindex 10.

## 12. Závěr

- V rámci diplomové práce byla navržena metoda zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin.
- Pro zvětšení citlivosti metody zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin byly doporučeny další parametry obrábění:
  - **doporučená řezná rychlost** 900 mm/min. Bylo zjištěno, že antiadhezní vlastnosti PK při řezné rychlosti 315 mm/min jsou o 6,5krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při řezné rychlosti 630 mm/min a o 17krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při řezné rychlosti 900 mm/min.
  - **doporučená délka zkušebního vzorku** 60 mm. Bylo zjištěno, že antiadhezní vlastnosti PK při délce vzorku 10 mm je o 1,5krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při délce vzorku 30 mm a o 4,5krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při délce vzorku 60 mm.
  - **doporučený materiál VBD** S26. Bylo zjištěno, že antiadhezní vlastnosti PK při použití materiálu VBD H10 je o 13krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při použití materiálu VBD S30 a o 24krát větší než antiadhezní vlastnosti PK při použití materiálu VBD S26.
- Z experimentu bylo zjištěno, že procesní kapalina Vasco 1000 má největší antiadhezní vlastnost.
  - Procesní kapalina Vasco 1000 má o 4krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Cimstar 620.
  - Procesní kapalina Vasco 1000 má o 5,5krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Paramo Eops 1030.
  - Procesní kapalina Vasco 1000 má o 7krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Hocut 795 B.
  - Procesní kapalina Vasco 1000 má o 8,5krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Blasocut 35.
  - Procesní kapalina Vasco 1000 má o 15krát větší antiadhezní vlastnost než procesní kapalina Grindex 10.



- Na základě výsledků experimentů bylo z hlediska antiadhezních vlastností doporučeno průmyslu používat PK Vasco 1000.

## Seznam literatury

- [1] Nováček P. Moderní chladicí kapaliny pro obrábění. [Bakalářská práce]. Brno, VUT Brno, 2012. Dostupné z:  
[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=54919](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54919)
- [2] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [3] Molnár A. Procesní kapaliny pro obrábění a způsoby jejich přívodu. [Bakalářská práce]. Brno, VUT Brno, 2008. Dostupné z:  
[https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/5946/Bakal%C3%A1%C5%99sk%C3%A1%20pr%C3%A1ce\\_Alexander%20Moln%C3%A1r.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/5946/Bakal%C3%A1%C5%99sk%C3%A1%20pr%C3%A1ce_Alexander%20Moln%C3%A1r.pdf?sequence=1)
- [4] JERSÁK, J. Základní pojmy, podstata technologie obrábění (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné z:  
[http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_pod.zip](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip).
- [5] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 1. díl*. 1. vyd. [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 119 s. Dostupné z: [http://homet.vsb.cz/~cep77/tech\\_II.htm](http://homet.vsb.cz/~cep77/tech_II.htm).
- [6] Zimola P. Analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při frézování konstrukční oceli pro firmu PARAMO, a.s. [Diplomová práce]. Liberec, TUL Liberec, 2012. Dostupné z:  
<http://knihovna.tul.cz/Katedra-obrabeni-a-montaze-%28KOM%29-159838.php>
- [7] BILÍK, O., MÁDL, J. Trvanlivost bříty a provozní spolehlivost obráběcího nástroje. (sv. 1 Knihovničky strojírenské technologie). Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2001, 86 s. ISBN 80-7044-389-8
- [8] Annals of the off CIRP, vol. 49/2/2000. H.K.TÖNSHOFF, C. ARENDT, R. BEN AMOR: Cutting of Hardened Steel.
- [9] DOBEŠ P. Současné trendy v oblasti kapalin pro obrábění. [online] MM Průmyslové Spektrum. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasne-trendy-v-oblasti-kapalin-pro-obrabeni>

- [10] BUMBÁLEK, B., OŠŤÁDAL, B., ŠAFR, E. Řezné kapaliny. 1.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1963. 136 s. ISBN -.
- [11] Tvaroh J. Zjištění dílčích vlastností procesních kapalin od firmy Paramo, a.s [Bakalářská práce]. Liberec, TUL Liberec, 2012. Dostupné z:  
*<http://knihovna.tul.cz/Katedra-obrazeni-a-montaze-%28KOM%29-159838.php>*
- [12] Beneš P. Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění. [Diplomová práce]. Liberec, TUL Liberec, 2009. Dostupné z:  
*<http://knihovna.tul.cz/Katedra-obrazeni-a-montaze-%28KOM%29-159838.php>*
- [13] VŠCHT Praha: Materiály k třecím zkouškám maziv. [B.r.]. 12s.
- [14] Blaser Swissslube CZ, s.r.o. Dostupné z: *<http://www.blaser.com/>*
- [15] SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. Technická příručka. [online]. Dostupné z:  
*[http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical\\_guide/Pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/Pages/default.aspx)*.

## **Seznam příloh**

- Příloha 1: Protokoly měření k zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.
- Příloha 2: Protokoly měření k zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců.

### **III. Přílohová část**

#### **Příloha č. 1**

Metodika 1. Zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.

- procesní kapalina: **Paramo Eops 1030** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

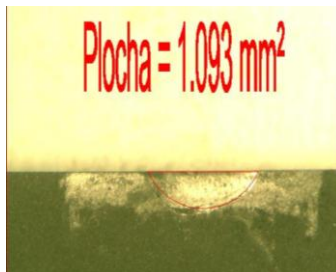
stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 630 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

Schema mereni



21.1



21.2



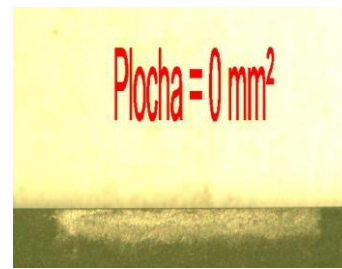
21.3



22.4



22.5



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
21.1	1,093
21.2	0
21.3	0
22.4	0
22.5	0

$$\bar{S} = 0,219$$

Průměrná hodnota plochy opotřebení  $0,219 \text{ mm}^2$ .

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

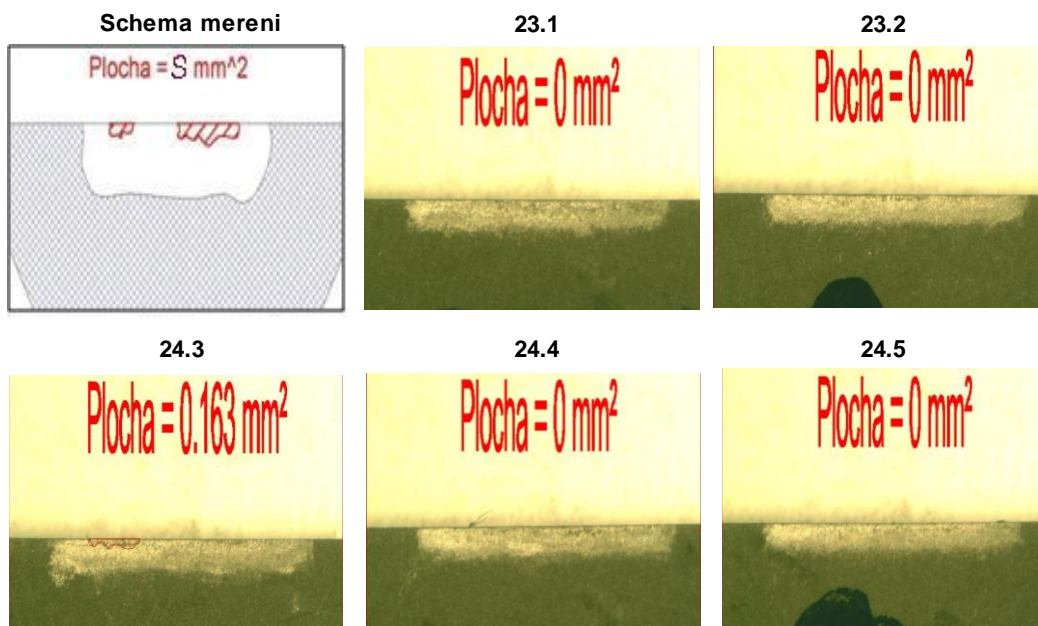
Metodika zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.

- procesní kapalina: **Paramo Eops 1030** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCNP 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 315 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
23.1	0
23.2	0
24.3	0,163
24.4	0
24.5	0

0,033

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,033 mm<sup>2</sup>.

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.

- procesní kapalina: **Paramo Eops 1030** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

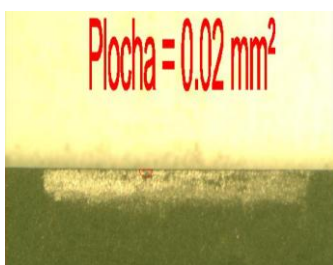
stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	30 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

Schema mereni



25.1



25.2



25.3



26.4



27.5



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
25.1	0,02
25.2	0,028
25.3	0
26.4	0,997
27.5	0

0,209

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,209 mm<sup>2</sup>.



## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.

- procesní kapalina: **Paramo Eops 1030** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	10 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

Schema mereni



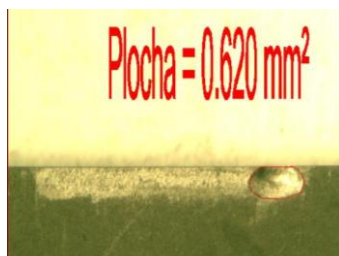
27.1



27.2



28.3



28.4



28.5



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
27.1	0
27.2	0
28.3	0,62
28.4	0
28.5	0

0,124

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,124 mm<sup>2</sup>.

### Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

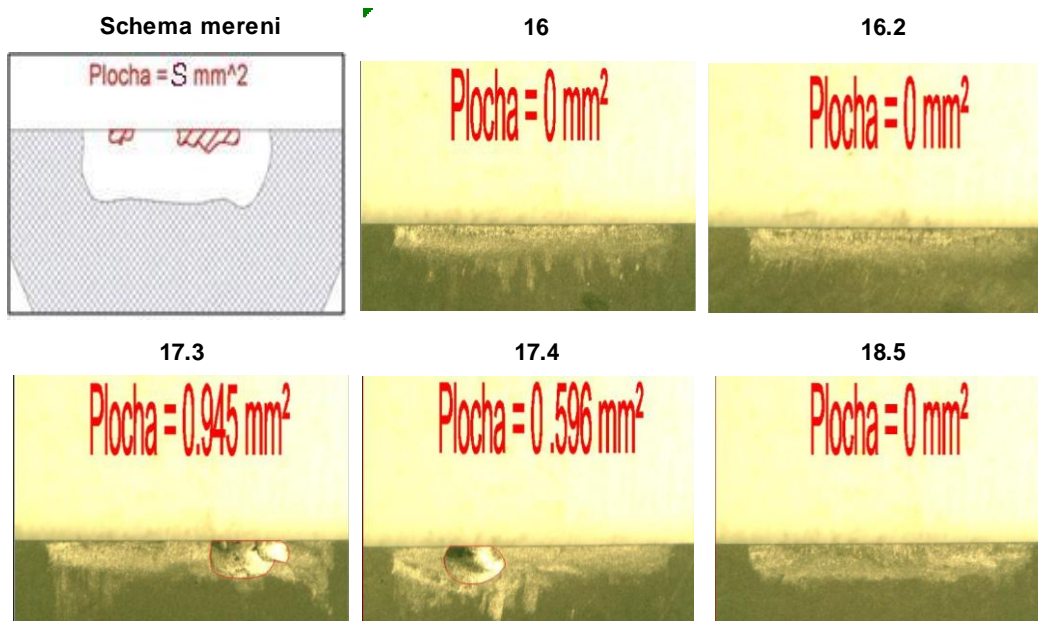
Metodika zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.

- procesní kapalina: **Paramo Eops 1030** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

#### Podmínky měření

stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S30
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,1
počet řezů	100

#### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD



#### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
16	0
16.2	0
17.3	0.945
17.4	0.596
18.5	0

0,308

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,308 mm<sup>2</sup>.

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění vlivu parametrů obrábění na antiadhezní vlastnosti procesní kapaliny.

- procesní kapalina: **Paramo Eops 1030** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCNP 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; H10
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

Schema merení



19.1



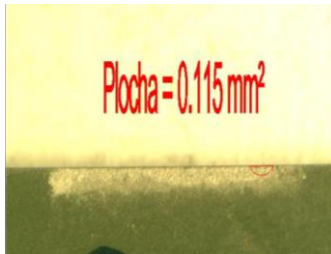
19.2



19.3



20.3



20.4



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
19.1	0
19.2	0
19.3	0
20.3	0.115
20.4	0

0,023

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,023 mm<sup>2</sup>.

## **Příloha č. 2**

Metodika 2. Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin

- procesní kapalina: **Vasco 1000** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

stroj TOS Olomouc typ FA4A-V  
nástroj soustružnický nůž Pramet CTCNP 2514 M16  
druh a materiál VBD VBD PRAMET TPUN 160304; S26  
řezné podmínky  $V_c = 900 \text{ mm/min}$ ;  $a_p = 0,1 \text{ mm}$   
délka vzorku 60 mm  
šířka hoblování 6 mm  
požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%  
hodnota refraktometru 1,6  
počet řezů 100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

Schema mereni



14.1



14.2



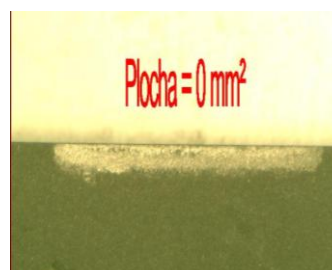
15.1



15.2



15.3



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.OE	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
14.1	0
14.2	0
15.1	0.474
15.2	0
15.3	0

$$\bar{s} = 0,095$$

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,095 mm<sup>2</sup>.

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

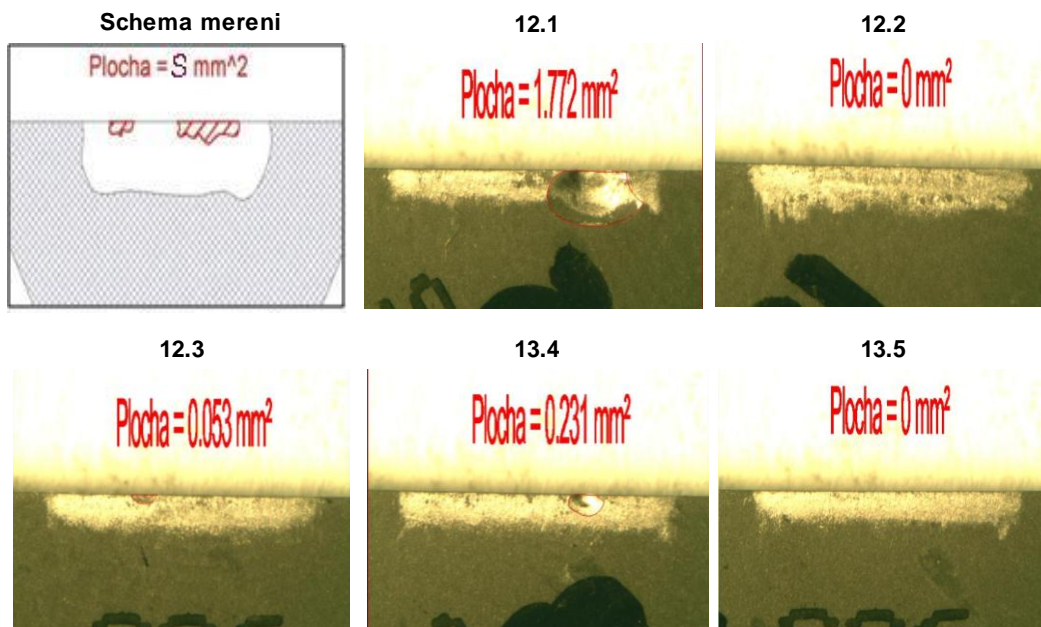
Metodika zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin

- procesní kapalina: **Cimstar 620** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,4
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
12.1	1,772
12.2	0
12.3	0,053
13.4	0,231
13.5	0

$\bar{S} = 0,411$

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,411 mm<sup>2</sup>.



## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

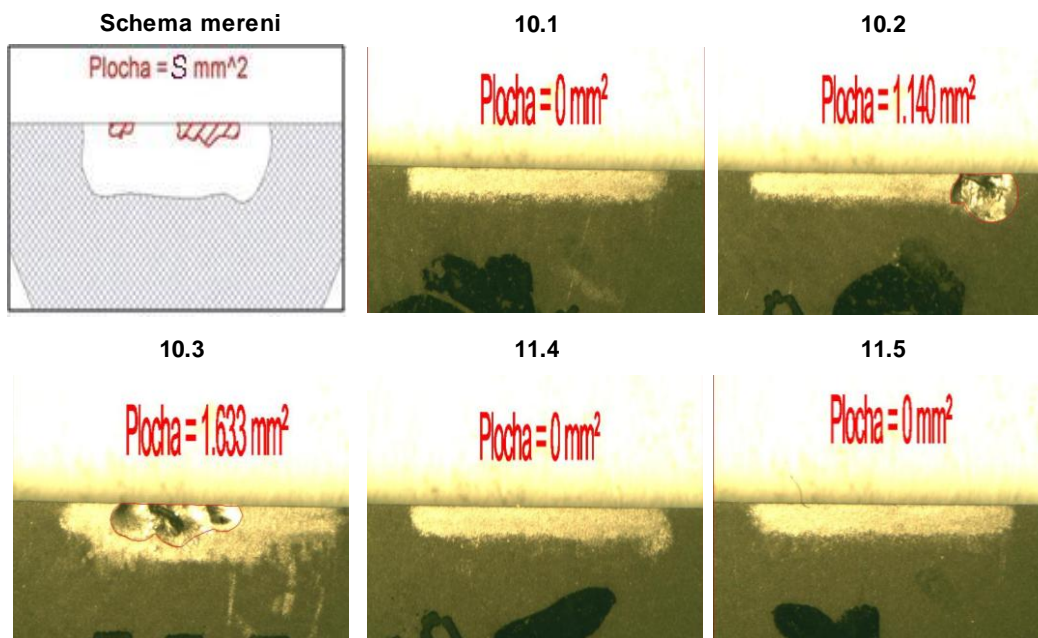
Metodika zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin

- procesní kapalina: **Paramo Eops 1030** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
10.1	0
10.2	1,14
10.3	1,633
11.4	0
11.5	0

$$\bar{S} = 0,555$$

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,555 mm<sup>2</sup>.

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin

- procesní kapalina: **Hocut 795 B** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

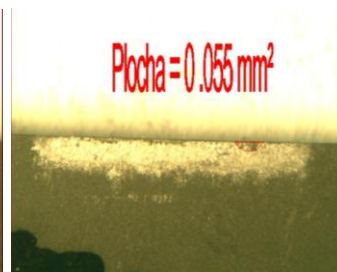
Schema mereni



7.1



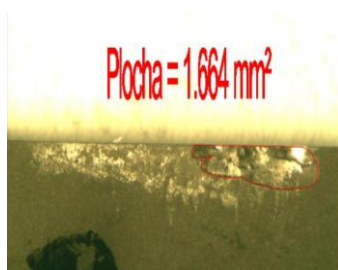
7.2



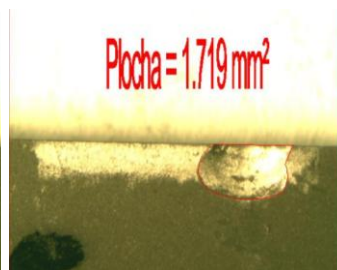
7.3



8.4



9.5



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
7.1	0
7.2	0,055
7.3	0
8.4	1,664
9.5	1,719

$$\bar{S} = 0,688$$

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,688 mm<sup>2</sup>.



## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin

- procesní kapalina: **Blasocut BC 35 Kombi** datum měření: 25.3.2013  
 - obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

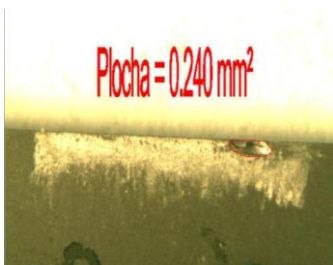
stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1
počet řezů	100

### chéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

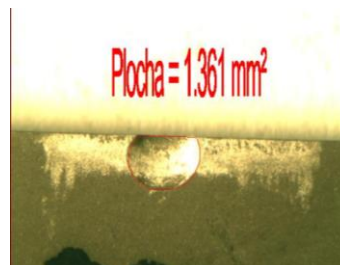
Schema mereni



1.1



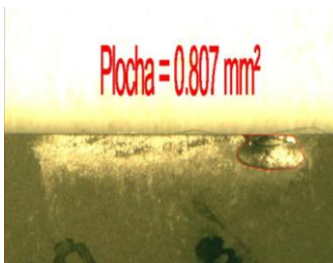
1.2



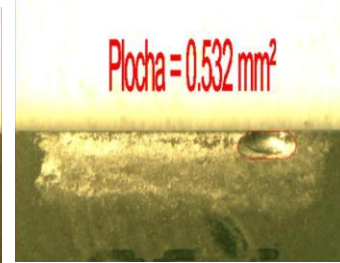
1.3



2.4



2.5



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
1.1	0,24
1.2	1,361
1.3	1,165
2.4	0,807
2.5	0,532

$$\bar{S} = 0,821$$

Průměrná hodnota plochy opotřebení 0,821 mm<sup>2</sup>.

## Zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin od nejlepších světových výrobců

Metodika zjištění antiadhezních vlastností procesních kapalin

- procesní kapalina: **Grindex 10** datum měření: 25.3.2013  
- obráběný materiál: **17021** měřili: Ing. Dugin, Šenkýř

### Podmínky měření

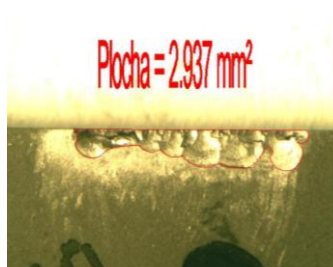
stroj	TOS Olomouc typ FA4A-V
nástroj	soustružnický nůž Pramet CTCN 2514 M16
druh a materiál VBD	VBD PRAMET TPUN 160304; S26
řezné podmínky	$V_c = 900 \text{ mm/min}$ ; $a_p = 0,1 \text{ mm}$
délka vzorku	60 mm
šířka hoblování	6 mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
hodnota refraktometru	1,6
počet řezů	100

### schéma měření a fotografie opotřebené na čele VBD

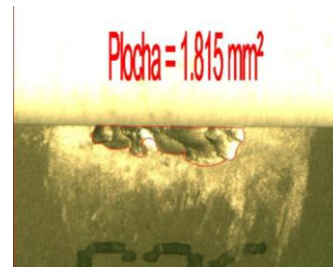
Schema mereni



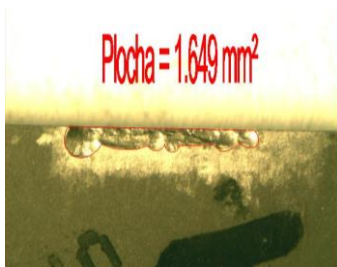
3.1



3.2



4.3



4.4



4.5



### Naměřené hodnoty - tabulka

1.0E	
Č. Zkouš.	S [mm <sup>2</sup> ]
3.1	2,937
3.2	1,815
4.3	1,649
4.4	0,544
4.5	0,325

$\bar{S} = 1,454$

Průměrná hodnota plochy opotřebení 1,454 mm<sup>2</sup>.

